



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2013

Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz

Braun, R ; Grossniklaus, U ; Gygax, D ; Kohler, S ; Matthias, P ; Romeis, J ; Sanvido, O ; Stieger, P

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-89831>

Monograph

Originally published at:

Braun, R; Grossniklaus, U; Gygax, D; Kohler, S; Matthias, P; Romeis, J; Sanvido, O; Stieger, P (2013). Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz. Bern: Akademien der Wissenschaften Schweiz.



Akademien der Wissenschaften Schweiz
Académies suisses des sciences
Accademie svizzere delle scienze
Academias svizas da las ciencias
Swiss Academies of Arts and Sciences

Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz



Zur Entstehung des Berichts

Der Bericht wurde vom Forum Genforschung der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) und der Plattform Biotechnologie und Bioinformatik der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) erarbeitet. Dabei wurden aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und Studien aus dem In- und Ausland einbezogen. Die Projektgruppe stand in engem Kontakt mit der Leitung des Nationalen Forschungsprogramms NFP 59, dessen Ergebnisse in den Bericht einflossen. Auf eigene Forschungsarbeiten wurde verzichtet. Die Projektgruppe wurde von zahlreichen Expertinnen und Experten unterstützt. Diese haben mit ihrem Fachwissen zu einzelnen Kapiteln beigetragen und/oder den Bericht auf seine faktische Richtigkeit überprüft. Insgesamt waren rund 35 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Entstehung des Berichts beteiligt.

Wissenschaft im Dienste der Gesellschaft

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz (akademien-schweiz) sind ein Verbund der vier schweizerischen Akademien der Wissenschaften: der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW), der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW) und der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW). Sie umfassen weiter das Kompetenzzentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS), Science et Cité und weitere wissenschaftliche Netzwerke.

Die wissenschaftlichen Akademien der Schweiz setzen sich gezielt für einen gleichberechtigten Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft ein und beraten Politik und Gesellschaft in wissenschaftsbasierten, gesellschaftsrelevanten Fragen. Sie vertreten die Wissenschaften institutionen- und fachübergreifend. In der wissenschaftlichen Gemeinschaft verankert, haben sie Zugang zu Expertise und Exzellenz und bringen Fachwissen in zentrale politische Fragestellungen ein.

Inhalt

Vorwort.....	2
Avant-propos.....	3
Foreword	4
Zusammenfassung	5
Résumé.....	6
Summary.....	7
1. Globale Anwendung von GV-Pflanzen als Herausforderung für die Schweiz	9
2. Was ist Grüne Gentechnik und wie unterscheidet sie sich von der konventionellen Züchtung?	15
3. Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und Nachhaltigkeit.....	21
a) Kartoffeln mit Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule	22
b) Verkürzte Zuchtprogramme für krankheitsresistente Apfelsorten	25
c) Gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln tolerante Zuckerrüben	28
4. Beiträge von GV-Pflanzen zu einer nachhaltigen Landwirtschaft – internationale Erfahrungen	31
a) Virus-resistente Papaya auf Hawaii	31
b) Grossflächige Bekämpfung des Maiszünslers in den USA	32
c) Baumwollanbau fast ohne Einsatz von Insektenbekämpfungsmitteln in Australien.....	32
d) Gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln toleranter Raps fördert die schonendere Bodenbearbeitung in Kanada	33
5. Herausforderungen beim Anbau von GV-Pflanzen	35
a) Auskreuzung und Koexistenz.....	36
b) Auswirkungen auf die Biodiversität.....	39
c) Resistenzentwicklungen bei Unkräutern und Schädlingen	40
d) Monopolisierung des Saatguts	41
6. Auswirkungen der gesetzlichen Bestimmungen zur Gentechnik auf die Forschung an Pflanzen ...	43
7. Schlussfolgerungen für die Schweiz.....	49
a) Bedeutung von GV-Pflanzen und neuen Züchtungstechniken für die Schweizer Landwirtschaft ..	49
b) Bedeutung der Forschung mit GV-Pflanzen.....	50
c) Risikobeurteilungen und gesetzliche Regulierungen.....	50
Annex	52
Impressum	53

Vorwort

Gentechnik stellt den heutigen Standard in der biomedizinischen Forschung dar und wird auch vermehrt im klinischen Alltag für Diagnostik und Behandlung eingesetzt. Dabei stuft die Allgemeinheit diese sogenannte «Rote Gentechnik» fast ohne Ausnahme als grossen Fortschritt ein, der unverzichtbar geworden ist.

Im Gegensatz dazu ist Gentechnik im Bereich der Pflanzenforschung und -züchtung in Europa umstritten. Diese sogenannte «Grüne Gentechnik» erscheint vielen als künstlich und wird als Gegenteil zum hierzulande sehr populären biologischen Anbau wahrgenommen. Unterscheiden sich die auf Gentechnik basierenden Methoden wirklich so stark von den traditionellen Verfahren der Pflanzenzüchtung, um diese gegensätzlichen Empfindungen zu rechtfertigen?

Im Jahr 2005 wurde nach Annahme einer Volksinitiative ein fünfjähriges Moratorium für den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen eingeführt. Kurz darauf startete das Nationale Forschungsprogramm NFP 59 mit dem Auftrag, Nutzen und Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen zu untersuchen. Im Rahmen des NFP 59 wurden auch Fragen zum Thema der Koexistenz gestellt: Ist es möglich, konventionell und gentechnisch veränderte Pflanzen nebeneinander anzubauen, ohne dass eine unerwünschte Vermischung stattfindet? Die breit gefächerte Studie kommt zum Schluss, dass die gentechnische Züchtung keine Risiken für den Menschen und seine Umwelt birgt, welche der konventionellen Züchtung nicht auch anhaften, und dass ein Nebeneinander von konventionellen und gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz möglich ist.

Wie bereits andere naturwissenschaftliche Akademien (zum Beispiel die Royal Society in Grossbritannien oder die Akademie Leopoldina in Deutschland) haben sich auch die Akademien der Wissenschaften Schweiz mit dieser Problematik befasst. Mit einem Blick auf die besonderen Bedingungen in der Schweiz möchten wir auf neutrale und unabhängige Weise die verschiedenen Aspekte der Grünen Gentechnik beleuchten. Ist die Grüne Gentechnik für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz interessant? Gibt es Risiken? Welche Auswirkungen hat die jetzige Situation auf die Zukunft der Schweizer Forschung? Diese und weitere Themen werden diskutiert.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.



Prof. Patrick Matthias
Präsident Forum Genforschung

Avant-propos

Le génie génétique représente l'état de l'art en matière de recherche biomédicale, et il est de plus en plus utilisé dans la pratique clinique quotidienne pour le diagnostic et le traitement. Le public considère presque sans exception ce « génie génétique rouge » comme une avancée majeure devenue indispensable.

En revanche, le génie génétique dans le domaine de la recherche sur les plantes et leur culture est controversé en Europe. Aux yeux de nombreuses personnes, ce « génie génétique vert » apparaît comme artificiel et il est considéré comme l'opposé de la culture biologique, très populaire en Suisse. Les méthodes basées sur le génie génétique diffèrent-elles vraiment tellement des méthodes traditionnelles de sélection végétale pour justifier ces sentiments contraires ?

En 2005, suite à l'adoption d'une initiative populaire, un moratoire de cinq ans sur la culture d'organismes génétiquement modifiés a été instauré. Peu de temps après, le Programme national de recherche PNR 59 a été lancé, dont l'objectif était d'étudier les avantages et les risques des cultures génétiquement modifiées. Dans le cadre du PNR 59, des questions sur le sujet de la coexistence ont également été posées: est-il possible de cultiver côte à côte des plantes conventionnelles et des plantes génétiquement modifiées sans que des mélanges indésirables aient lieu ? Cette étude de grande ampleur a conclu que la sélection par génie génétique ne présente pas plus de risques pour les êtres humains et leur environnement que la sélection conventionnelle, et que la coexistence de plantes conventionnelles et de plantes génétiquement modifiées est possible en Suisse.

Tout comme d'autres académies scientifiques (p.ex., la Royal Society au Royaume-Uni ou l'Akademie Leopoldina en Allemagne), les Académies suisses des sciences se sont penchées sur cette question. En prenant en compte les conditions particulières en Suisse, nous aimerions éclairer de manière neutre et indépendante les différents aspects du génie génétique vert. Le génie génétique vert est-il intéressant pour une agriculture durable en Suisse ? Comporte-t-il des risques ? Quel est l'impact de la situation actuelle sur l'avenir de la recherche en Suisse ? Ces questions, ainsi que d'autres, sont traitées.

Je vous souhaite une lecture passionnante.



Prof. Patrick Matthias

Président du Forum Recherche génétique

Foreword

Genetic engineering represents the state-of-the-art in biomedical research and is used increasingly for diagnosis and treatment in day-to-day clinical situations. Almost without exception, the general public regards this so-called “red genetic engineering” as very progressive, and as something which has become indispensable.

In contrast, genetic engineering in plant research and cultivation is a controversial subject in Europe. Many consider this so-called “green genetic engineering” to be artificial and see it as being in opposition to organic cultivation, which is so popular here. Are the methods of genetic engineering actually so different from traditional plant cultivation methods as to legitimate such antagonistic sentiments?

In 2005, on the adoption of a popular initiative, a five-year moratorium was imposed on the cultivation of genetically modified plants. Shortly after, the National Research Programme NRP 59 began with the aim of researching the benefits and risks of genetically modified plants. Under the umbrella of NRP 59 questions were also posed on the issue of coexistence: is it possible to cultivate conventional and genetically modified plants side-by-side without undesirable crossbreeding taking place? This broadly based study concludes that genetically modified breeding does not present any risks to humans or their environment that are not also inherent in conventional cultivation methods, and that planting of conventional and genetically modified plants alongside each other is possible in Switzerland.

As previously done by other academies of natural sciences (e.g. the Royal Society in the UK and the Akademie Leopoldina in Germany), the Swiss Academies of Arts and Sciences have also looked into this issue. With the particular circumstances of Switzerland in mind, we would like to shed some light on the various aspects of green genetic engineering from a neutral and independent perspective. Is green genetic engineering worth investigating for sustainable agriculture in Switzerland? Are there any risks? What effects will the current situation have on the future of research in Switzerland? These and other topics are discussed here.

I hope you find the following pages interesting.



Prof. Patrick Matthias

President of the Forum for Genetic Research

Zusammenfassung

Gewisse gentechnisch veränderte Pflanzen (GV-Pflanzen) könnten für eine ertragreiche und umweltschonende Schweizer Landwirtschaft einen Beitrag leisten. Das zeigen die Akademien der Wissenschaften Schweiz im vorliegenden Bericht. Er schliesst an ein Forschungsprogramm des Nationalfonds (NFP 59) an, welches belegt, dass der Anbau von GV-Pflanzen mit keinen Umweltrisiken verbunden ist, die nicht auch für konventionell gezüchtete Pflanzen bestehen. In der konventionellen Züchtung werden ausgewählte Pflanzen so lange miteinander gekreuzt – und ihre DNA somit vermischt – bis die gewünschte Merkmalskombination erreicht ist. Mit gentechnischen Methoden hingegen werden einzelne Abschnitte der pflanzlichen DNA gezielt verändert und arteigene oder artfremde DNA direkt in das Erbgut eingefügt.

Zurzeit werden weltweit vorwiegend GV-Pflanzen angebaut, die gegen das Unkrautbekämpfungsmittel Glyphosat tolerant sind oder bestimmte natürliche Insektenbekämpfungsmittel (Bt-Toxine) produzieren. In Entwicklung stehen aber auch Nutzpflanzen mit anderen Eigenschaften. Zum Teil verfügen sie über stärkere pflanzeigene Abwehrkräfte gegen Schädlinge, andere können der Trockenheit besser standhalten, wieder andere weisen eine optimierte Nährstoffzusammensetzung auf. Die Veränderungen im Erbgut dieser neueren GV-Nutzpflanzen sind oft so beschaffen, dass kaum noch artfremde DNA vorhanden ist. Stellt man die resultierende Pflanze anstatt ihre Herstellungsmethode in den Vordergrund, verschwindet die Grenze zwischen konventioneller Züchtung und gentechnischer Veränderung zunehmend.

Internationale Erfahrungen mit GV-Pflanzen zeigen, dass eine erhöhte Resistenz gegen Schädlinge und eine Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die mechanische Verdichtung des Bodens reduzieren können. Zu den GV-Kulturpflanzen, die künftig in der Schweiz von Bedeutung sein können, zählen etwa Kartoffeln mit einer Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule und Apfelbäume mit einer Resistenz gegen Feuerbrand und Schorf. Bei krankheitsresistenten Sorten lassen sich erwartungsgemäss die Spritzeinsätze stark senken, wodurch sowohl die Ernteprodukte als auch die Umwelt weniger belastet werden.

Auch in der kleinräumigen Schweiz wäre es grundsätzlich möglich, dass landwirtschaftliche Anbausysteme mit Gentechnik neben solchen existieren, die darauf verzichten. Auskreuzung und Vermischung lassen sich für die meisten Nutzpflanzen durch gezielte Massnahmen reduzieren oder verhindern; die nötige Erfahrung zur Reinhaltung von Saatgut und Ernteprodukten ist seit langem vorhanden. Eine zukünftige Koexistenzregulierung muss auf wissenschaftlicher Basis beruhen und an die verschiedenen Kulturpflanzen und Anbausysteme angepasst sein.

Ein voraussichtlich bis Ende 2017 gültiges Moratorium verbietet in der Schweiz den kommerziellen Anbau von GV-Pflanzen. In Schweizer Labors und in Gewächshäusern entwickelte GV-Pflanzen wurden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, in internationaler Zusammenarbeit im Ausland im Feld getestet. Hierzulande setzen Freilandversuche langwierige und kostspielige Bewilligungsverfahren voraus. Die wenigen bisher in der Schweiz durchgeführten Feldversuche wurden zudem durch Störaktionen bis hin zu mutwilliger Zerstörung behindert und mithin erheblich verteuert. Gefordert sind daher Strukturen, welche die landwirtschaftliche Forschung mit GV-Pflanzen im Freiland vor Vandalismus schützen. Dazu gehört die «protected site», die bei Agroscope am Standort Reckenholz eingerichtet und ab 2014 in Betrieb sein wird. Dass die öffentliche Agrarforschung gestärkt wird und in der Öffentlichkeit ein wissenschaftsbasiertes Verständnis für die Grüne Gentechnik entsteht, ist den Akademien ein grosses Anliegen. Denn aus ihrer Sicht darf die Schweiz der Grünen Gentechnik das Potenzial, zu einer nachhaltigen Landwirtschaft und der Ernährungssicherheit beizutragen, nicht leichtfertig absprechen, zumal unser Land dadurch Gefahr laufe, in der diesbezüglichen Forschung und Entwicklung ins Hintertreffen zu geraten.

Résumé

Certaines plantes génétiquement modifiées (PGMs) pourraient contribuer à une agriculture rentable et respectueuse de l'environnement en Suisse. C'est ce que démontrent les Académies suisses des sciences dans le présent rapport. Il rejoint les mêmes conclusions qu'un programme de recherche du Fonds national suisse (PNR 59) qui montre que la culture des PGM n'est pas source de risques environnementaux autres que ceux qui existent également pour les plantes sélectionnées de manière conventionnelle. Dans la sélection conventionnelle, des plantes sélectionnées sont croisées les unes avec les autres – et leur ADN est de ce fait mélangé – aussi longtemps que nécessaire pour que la combinaison de caractéristiques souhaitées soit atteinte. Avec des méthodes de génie génétique au contraire, des séquences de l'ADN végétal sont modifiées de manière ciblée, et de l'ADN indigène ou étranger est directement introduit dans le génome.

À l'heure actuelle, dans le monde entier, ce sont principalement des PGM tolérantes à l'herbicide glyphosate ou qui produisent certains insecticides naturels (toxines Bt) qui sont cultivées. Toutefois des plantes utiles dotées d'autres caractéristiques sont également en cours de développement. Certaines de ces plantes disposent de défenses renforcées contre les ravageurs, d'autres peuvent mieux résister à la sécheresse, et d'autres encore présentent une composition en nutriments optimisée. Les modifications du génome de ces nouvelles PGMs sont souvent conçues de telle sorte que l'ADN étranger y soit encore à peine présent. Si l'on se focalise sur les plantes obtenues, plutôt que sur la méthode d'obtention, la frontière entre sélection classique et modification génétique a tendance à disparaître de plus en plus.

Les expériences internationales sur les PGMs montrent qu'une résistance accrue aux ravageurs et une tolérance aux herbicides peuvent réduire l'utilisation de pesticides et le compactage mécanique du sol. Parmi les PGMs qui pourraient être importantes en Suisse à l'avenir, citons les pommes de terre résistantes au mildiou et les pommiers possédant une résistance au feu bactérien et à la tavelure. Avec les variétés résistantes à la maladie, les opérations de pulvérisation peuvent être réduites comme prévu, entraînant ainsi une pollution moindre des produits de récolte ainsi que de l'environnement.

Même au sein de la Suisse exigüe, il serait en principe possible que les cultures agricoles avec PGMs coexistent avec celles sans PGM. Les croisements et les mélanges peuvent être réduits, voire évités, pour la plupart des cultures par des mesures ciblées; l'expérience nécessaire pour empêcher la pollution des semences et des récoltes existe depuis longtemps. Une future régulation de la coexistence doit être fondée sur une base scientifique et adaptée aux différentes cultures et systèmes de culture.

Un moratoire, applicable jusqu'à fin 2017, interdit en Suisse la culture en plein champ des PGMs. À quelques exceptions près, les plantes génétiquement modifiées développées dans les laboratoires et dans les serres en Suisse ont été testées en plein champ à l'étranger dans le cadre de coopérations internationales. Dans notre pays, les essais en plein champ exigent des procédures d'autorisation longues et coûteuses. Les rares essais en plein champ réalisés jusqu'ici en Suisse ont en outre été entravés par des actions perturbatrices allant jusqu'à la destruction volontaire et ont donc coûté beaucoup plus cher. Il faut donc des structures permettant de protéger du vandalisme la recherche agricole avec des PGMs lors de tests dans des cultures en plein champ. Le « protected site », qui est en cours d'aménagement à l'Agroscope de Zurich et sera mis en service en 2014, en fait partie. L'une des principales préoccupations des Académies est que la recherche agricole publique soit renforcée et que dans l'opinion publique se fasse jour une compréhension du génie génétique vert fondée scientifiquement. Car selon les Académies, la Suisse ne doit pas rejeter à la légère le génie génétique vert et son potentiel de contribution à une agriculture durable et à la sécurité alimentaire, ceci d'autant plus que notre pays courrait le risque de se retrouver à la traîne dans la recherche et le développement dans ce domaine.

Summary

Certain genetically modified plants (GMPs) could contribute to an agriculture that is both profitable and advantageous for the environment in Switzerland, as shown in this report by the Swiss Academies of Arts and Sciences. It follows on from a Research Programme of the Swiss National Science Foundation (NRP 59), which demonstrated that the cultivation of GMPs does not entail any environmental risks that do not also exist for conventionally bred plants. In conventional breeding, selected plants are repeatedly crossed with each other – and their DNA is thereby combined – until the desired combination of traits is achieved. With genetic modification on the other hand, segments of the plant's DNA are deliberately altered and DNA from related or unrelated species is introduced directly into the genetic material.

Currently, the GMPs which are predominantly cultivated worldwide are those which are tolerant to the herbicide glyphosate or which produce certain natural insecticides (Bt toxins). However, other agricultural crops are also being produced. Some of these possess stronger, plant-specific natural defences against pests, some can better tolerate drought, while others have an optimised nutritional composition. The modifications to the genetic material of these newer GMP crops are often created in such a way that very little DNA from unrelated species is present. If the resulting plant is considered rather than the method of creating it, then the line of demarcation between conventional breeding and genetic modification becomes increasingly faint.

International experience with GMPs shows that increased pest resistance and herbicide tolerance can reduce the use of pesticides as well as the mechanical compaction of soil. Some of the GM food crops, which could become important in Switzerland in the future, include potatoes with a resistance to late blight, and apple trees with a resistance to fire blight and scab. Disease-resistant varieties are expected to significantly reduce the use of sprays, which in turn will mean less pollution of both the produce and the environment.

Even in Switzerland, where space is restricted, it would be perfectly possible for agricultural systems that use genetically modified crops to exist alongside those which do not. Cross-fertilization and cross-breeding can be reduced or prevented for most crops by taking specific measures; the requisite experience in maintaining the purity of seed stocks and harvested crops has been around for a long time. Any future regulation on coexistence must be scientifically based and adapted to the various crops and cultivation systems.

A moratorium in Switzerland which expires at the end of 2017 forbids the open-field cultivation of GM plants. GM plants developed in Swiss laboratories and greenhouses have, for the most part, been tested abroad in open field trials with international cooperation. Here in Switzerland, open field trials have to go through a longwinded and costly approval process. The few field trials that have been carried out in Switzerland up to now have moreover been disturbed by disruptive behaviour and even wilful destruction, which has significantly increased costs even further. Structures are therefore needed which protect GM crops in open fields from vandalism. This includes the "protected site" which is being prepared at the Agroscope facility in Zurich and which will be in operation from 2014. It is a matter of utmost concern to the Academies that public agricultural research is bolstered and that a scientifically based understanding of green genetic engineering is developed among the general public. It is their view that Switzerland should not readily dismiss the potential of green genetic engineering to contribute to sustainable agriculture and food security, especially as by doing so our country runs the risk of falling behind in this area of research and development.



1. Globale Anwendung von GV-Pflanzen als Herausforderung für die Schweiz

- Weltweit ist der Anbau von GV-Pflanzen seit dem Beginn des Anbaus im Jahr 1996 stark angestiegen. Im 2011 haben rund 16,7 Millionen Bauern in 29 Ländern auf mehr als 10 Prozent der weltweiten Ackerfläche GV-Pflanzen angebaut.
- Nahezu 50 Prozent der Anbaufläche von GV-Pflanzen befindet sich in Schwellen- und Entwicklungsländern.
- Die Mehrzahl der angebauten Pflanzen ist resistent gegenüber bestimmten Schädlingen oder tolerant gegenüber einzelnen Unkrautbekämpfungsmitteln.
- Ernteprodukte aus GV-Pflanzen werden global gehandelt. Zurzeit importieren 60 Länder GV-Lebensmittel. Das Abseitsstehen eines Landes beim Handel mit GV-Produkten ist sehr aufwendig und kostspielig.

GV-Pflanzen wurden zu Beginn nur in wenigen Ländern angebaut. Im Jahr 1996 waren es die sechs Länder USA, China, Kanada, Argentinien, Australien und Mexiko. Seither hat die Grüne Gentechnik viele Entwicklungsschritte durchlaufen. Der Anbau ist auf über das 90-fache gestiegen und hat sich bis heute auf 29 Länder ausgeweitet. Ein starkes Wachstum in den letzten Jahren verzeichnen die Schwellenländer China, Indien, Brasilien, Argentinien und Südafrika. Aber auch in Mittelamerika werden erhebliche Mengen an GV-Pflanzen angebaut. In Entwicklungsländern wie Burkina Faso gewinnen GV-Pflanzen an Bedeutung. Die am häufigsten kultivierten GV-Nutzpflanzen sind Soja, Mais, Baumwolle und Raps (Abbildung 1). Weitere GV-Sorten im Anbau sind Zuckerrüben, Luzerne, Papaya, Kürbis, Paprika, Tomaten und Pappeln.¹

Den grössten flächenmässigen Anteil an GV-Pflanzen (59 Prozent) machen Sorten aus, die gegen das Unkrautbekämpfungsmittel Glyphosat tolerant sind, gefolgt von Pflanzen, in denen Toleranz gegen Unkrautbekämpfungsmittel und Insektenresistenz kombiniert sind (26 Prozent). Der Anbau von GV-Pflanzen mit Insektenresistenz alleine umfasst ungefähr 15 Prozent der total angebauten GV-Pflanzen.¹

Neuere Entwicklungen schliessen – neben den bereits genannten Pflanzen – weitere Nutzpflanzen wie Reis, Weizen, Kartoffeln und verschiedene Obstsorten ein. Die verbesserten Eigenschaften beschränken sich in diesen Fällen nicht mehr nur auf Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln und Resistenz gegen Insekten. So sind zum Beispiel in den USA gegen Trockenheit tolerante Maissorten sowie mit Omega-3-Fettsäuren angereicherte Sojapflanzen kurz vor der Markteinführung.²

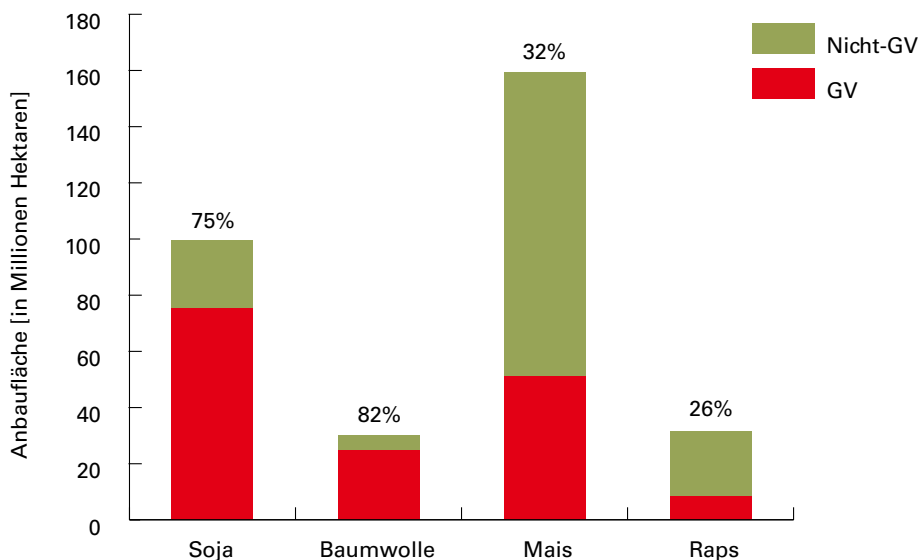


Abbildung 1: Totale globale Anbaufläche von vier wichtigen Kulturpflanzen, bei denen GV-Sorten zum Anbau zugelassen sind, und deren GV-Anteil in Prozent im Jahr 2011 (rote Fläche¹).

In Europa ist der Anbau von GV-Pflanzen im weltweiten Vergleich immer noch sehr gering, und es herrscht verbreiteter Widerstand gegen den Einsatz der Grünen Gentechnik. Nur in Spanien werden GV-Pflanzen in einer nennenswerten Masse angebaut. Dort liegt der Flächenanteil beim Mais seit einigen Jahren stabil bei über 20 Prozent. In Regionen mit grossem Schädlingsdruck wie Katalonien kann der Anteil allerdings über 80 Prozent betragen.^{3, 4} Neben insektenresistentem Bt-Mais sind in Europa eine Reihe weiterer GV-Pflanzen zur landwirtschaftlichen Nutzung angemeldet (siehe Annex).

In der Schweiz reguliert das 2004 in Kraft getretene Gentechnikgesetz (GTG) den Umgang mit GV-Organismen im Ausserhumanbereich. Im November 2005 wurde die Volksinitiative «Für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft» angenommen. Das eingeführte Moratorium untersagt das Inverkehrbringen von GV-Pflanzen, -Pflanzenteilen und -Saatgut, welche für die landwirtschaftliche, gartenbauliche und forstwirtschaftliche Anwendung in der Umwelt bestimmt sind. Ende 2013 läuft die Frist des Moratoriums ab. National- und Ständerat haben sich aber bereits für eine Verlängerung des Moratoriums im Rahmen der Agrargesetzgebung um weitere vier

Jahre bis Ende 2017 ausgesprochen. Aber auch nach Ablauf des Moratoriums ist nicht zu erwarten, dass GV-Nutzpflanzen in der Schweiz in den nächsten Jahren angebaut werden. Dazu müssten sie, wie konventionell gezüchtete Pflanzen auch, zuerst die Zulassungsverfahren von neuen Kultursorten in der Schweiz durchlaufen, was mehrere Jahre in Anspruch nimmt. Zurzeit sind keine GV-Pflanzen für ein Zulassungsverfahren in der Schweiz angemeldet.⁵

Im Gegensatz zum gegenwärtigen Anbauverbot von GV-Pflanzen ist der Import von GV-Futter- und -Nahrungsmitteln in der Schweiz erlaubt, wenn eine von den zuständigen Behörden erlassene Genehmigung vorliegt (Bundesamt für Landwirtschaft für Futtermittel, Bundesamt für Gesundheit für Nahrungsmittel). Wenige GV-Mais- und -Soja-Futtermittel sind zugelassen, sie werden aber nicht importiert. Bei den Lebensmitteln sind nur GV-Soja und -Mais sowie die gentechnisch hergestellten Vitamine B2 und B12, das Labenzym Chymosin und ein Eis-strukturierendes Protein zugelassen. In der Schweiz angebotene Lebensmittel enthalten allerdings höchstens vereinzelt aus GV-Soja und -Mais hergestellte Erzeugnisse.

Politische Entwicklung zum Umgang mit GV-Organismen in der Schweiz

- 1992 Schweizerische Arbeitsgruppe Gentechnologie (SAG) lanciert Gen-Schutz-Initiative.
- 1998 Gen-Schutz-Initiative wird mit 66 Prozent der Stimmen abgelehnt.
- 2004 Bundesrat setzt das Gentechnikgesetz (GTG) in Kraft, das den Umgang mit GV-Organismen im Ausserhumanbereich regelt.
- 2005 Volksinitiative «Für Lebensmittel aus gentechnikfreier Landwirtschaft» wird angenommen. Das eingeführte Moratorium untersagt das Inverkehrbringen von GV-Pflanzen, -Pflanzenteilen und -Saatgut, welche für die landwirtschaftliche, gartenbauliche und forstwirtschaftliche Anwendung in der Umwelt bestimmt sind.
- 2009 Bundesrat veröffentlicht die Botschaft einer Verlängerung des Moratoriums bis November 2013.
- 2010 Das Parlament stimmt der vorgeschlagenen Verlängerung des Moratoriums bis November 2013 zu.
- 2012 Synthesebericht des Nationalen Forschungsprogramms (NFP 59): Nach derzeitigem Stand des Wissens schaden GV-Pflanzen weder der menschlichen Gesundheit noch der Umwelt. Nicht das Züchtungsverfahren soll für die Risikobewertung von Pflanzen ausschlaggebend sein, sondern die Eigenschaften der für den Anbau vorgesehenen Sorte.
- 2012 National- und Ständerat sprechen sich für eine weitere Verlängerung des Moratoriums bis Ende 2017 aus. Der Nationalrat beantragt eine Kosten-Nutzenanalyse für GV-Pflanzen in der Schweiz.

Der Anbau und Konsum von GV-Produkten steigt weltweit an. Daher wird die Strategie, sich der Land- und Lebensmittelwirtschaft mit GV-Pflanzen zu verschliessen, immer aufwendiger und kostspieliger. Es müssen Regulierungsmassnahmen und Deklarationslabels erarbeitet sowie regelmässige Kontrollen durchgeführt werden. Es kommt auch vor, dass Sojaschrot und Maiskleber (proteinhaltige Futtermittel) mit GV-Anteilen vermischt sind. Von Vermischung spricht man, wenn der GV-Anteil für in der Schweiz nicht bewilligte GV-Produkte 0,5 Prozent und für bewilligte GV-Produkte 0,9 Prozent übersteigt.⁵ Die erst kürzlich entdeckte Präsenz von gegen Unkrautbekämpfungsmittel toleranten GV-Rapspflanzen an Bahngleisen in der Schweiz ist erstaunlich, da GV-Rapssaatgut in der Schweiz nicht eingeführt wird und Rapsschrot nicht keimfähig ist.⁶ Möglicherweise sind die GV-Rapssamen aus Zügen gefallen, welche die Schweiz durchquerten. Das Vorkommnis zeigt die Schwierigkeit, sich von GV-Pflanzen völlig abschotten zu wollen.

Durch die Diskussion um eine zweite Verlängerung des Moratoriums haben Auseinandersetzungen um die Grüne Gentechnik in politischen Gremien und in der Gesellschaft in der Schweiz wieder an Bedeutung gewonnen. Da sich die auf der Gentechnik basierenden Methoden der Züchtung im letzten Jahrzehnt stark entwickelt haben und die Züchtungsziele sich nicht mehr auf Toleranzen gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln (Glyphosat) und Insektenresistenzen (Bt-Toxine) beschränken, bekommt die Technologie einen neuen Stellenwert. In den folgenden Kapiteln wird aufgezeigt, wie die Grüne Gentechnik zur Züchtung von Pflanzen beitragen kann, die sich in einer umweltschonenden Landwirtschaft einsetzen lassen. National und international erarbeitete wissenschaftliche Erkenntnisse zur Technologie sowie zu deren Nutzen und Risiken für die Landwirtschaft werden analysiert. Zudem wird die Funktion des Forschungsstandortes Schweiz für die Entwicklung von Kulturpflanzen für eine nachhaltige Landwirtschaft aufgezeigt, und es werden praktikierbare Massnahmen für ein Nebeneinander von landwirtschaftlicher Produktion mit und ohne GV-Pflanzen vorgeschlagen.

Die Schweiz wird von GV-Futtermitteln freigehalten

Rudolf Marti, Vereinigung Schweizerischer Futtermittelfabrikanten

Die Schweiz ist neben Norwegen das einzige Land in Europa, das konsequent auf deklarationspflichtige GV-Futtermittel verzichtet. Grundsätzlich wären die gesetzlichen Grundlagen vorhanden, GV-Futtermittel in der Nutztierfütterung einzusetzen, aber die privaten Labels wie Coop Naturafarm, TerraSuisse und QM-Schweizer Fleisch verbieten die Verwendung von GV-Futtermitteln.

Futterzusätze wie Vitamine, Enzyme, Aminosäuren, Aromastoffe etc. sind nicht deklarationspflichtig, auch wenn sie mit GV-Mikroorganismen hergestellt worden sind. Solche nicht deklarationspflichtige GV-Zusätze werden sowohl in der Schweiz wie auch in der EU in der Nutztierfütterung verwendet.

In der EU beträgt der Anteil der GV-Futtermittel je nach Land zwischen 85 Prozent bis 100 Prozent. Nutztierfütterung ohne genveränderte Organismen (GVO) ist als Nische regional in Deutschland, Österreich, Italien, Schweden und Finnland zu beobachten. Die rund 90 Prozent (EU-Durchschnitte) der eingesetzten GV-Futtermittel werden allesamt deklariert. Von Seiten der Tierhalter werden kaum je negative Reaktionen festgestellt.

Mit GV-Futtermitteln hergestellte Fleisch-, Milch- und Eierprodukte sind weder in der EU noch in der Schweiz deklarationspflichtig. Praktisch alle tierischen Nahrungsmittel, die in die Schweiz importiert werden, stammen von Tieren, die in der EU, Brasilien, Argentinien, Nordamerika, Asien etc. deklarationspflichtige GV-Futtermittel gefressen haben. Der Konsument und die Konsumentin sind sich dieser Tatsache nicht bewusst.

Die GVO-freie Fütterung hat insbesondere für die Rohstoffbeschaffung und die Preise sowie für Kontrollen und Analysen Konsequenzen.

Rohstoffbeschaffung

Der Selbstversorgungsgrad mit pflanzlichen Eiweissträgern in der Schweiz ist unter 20 Prozent

gefallen. Über 80 Prozent des Bedarfes müssen somit importiert werden. 2011 wurden 292 000 t Sojaschrot und 31 000 t Maiskleber eingeführt. Die anderen Eiweissträger wie Erbsen, Rapsschrot (europäische Herkunft) und Kartoffelprotein sind nicht «GVO-kritisch».

Die weltweite GVO-Situation führt dazu, dass der Schweizer Bedarf fast ausschliesslich mit Sojaschrot aus Brasilien und Maiskleber aus China gedeckt wird. Die beiden anderen wichtigen Exportländer USA und Argentinien liefern keinen GVO-freien Sojaschrot mehr. Die ausschliessliche Bedarfsdeckung aus Brasilien hat neben der Monopolisierung des Marktes auch zur Folge, dass Diskussionen über die Abholzung der Wälder im Amazonas-Gebiet oder über Zwangsarbeit geführt werden müssen. Maiskleber aus China ist mit Qualitätsproblemen verbunden (Melamin-Krise etc.).

Preise

Die Mehrkosten für den GVO-freien und nachhaltig produzierten Sojaschrot betragen im Jahresdurchschnitt ca. 7 CHF für 100 kg. Bei hohen Weltmarktpreisen nähern sich die Mehrkosten eher 10 CHF pro 100 kg an. Sie sind bedingt durch höhere Rohstoffpreise, Mehrkosten für Logistik und Transporte (separate Linien) und die Kontroll- und Analysenkosten. Beim Maiskleber ist die Situation ähnlich.

Die Mehrkosten für die Tierproduktion als Folge der GVO-freien Fütterung bewegen sich somit bei 320 000 t × 70 CHF/t oder 22 Mio. CHF pro Jahr. Wegen der sehr hohen Weltmarktpreise liegen die Mehrkosten aktuell sogar bei 25 – 30 Mio. CHF pro Jahr. Der Zusatzaufwand von 550 CHF pro durchschnittlichem Landwirtschaftsbetrieb wird den Tierhaltern in der Schweiz nicht abgegolten und bedeutet eine Wettbewerbsverzerrung gegenüber den importierten tierischen Nahrungsmitteln.

Kontrollen / Analysen

Der Kontroll- und Analysenaufwand ist enorm. Analysen werden normalerweise in Brasilien (Abgangshafen), Rotterdam und Basel durchgeführt. Weitere regelmässige Kontrollen mit Analysen sind im Mischfutterwerk notwendig. Die Kosten schwanken und sind je nach Risiko-bewertung von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich. In den obgenannten Mehrkosten (+ 7 CHF bis 10 CHF pro 100 kg) sind die Kontroll- und Analysenkosten miteingerechnet.

Mit der Zunahme des Anbaus von GV-Pflanzen nimmt das Risiko von GVO-Vermischungen zu. Die Risiken und der Kontrollaufwand steigen. Hinzu kommt, dass die GVO-Analysen nicht über alle Zweifel erhaben sind.

Perspektiven

Die Versorgung mit GVO-freien Rohstoffen (insbesondere Sojaschrot) wird immer schwieriger. Die Abhängigkeit von Brasilien führt zu Monopolen mit kartellistischen Absprachen. Die Versorgung auf den Weltmärkten mit pflanzlichen Eiweissen ist kritisch und treibt die Preise schneller in die Höhe als bei den Energieträgern (zum Beispiel Futtergetreide). Die Forderung in der Schweiz nach GVO-freien Futtermitteln verursacht substantielle Mehrkosten, die vom Markt nicht abgegolten werden. Bei den importierten tierischen Erzeugnissen ist die GVO-freie Fütterung kein oder fast kein Thema, weil sie nicht durchsetz- und kontrollierbar ist. Die Tierproduktion in der Schweiz leidet unter der Wettbewerbsverzerrung.

Kontrollen verteuern zertifizierte Nahrungsmittel

Peter Brodmann, Kantonales Laboratorium Basel-Stadt

Eine quantitative Screeninguntersuchung auf die Anwesenheit von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in einem Nahrungsmittel kostet pro Probe etwa 200 CHF. Eine detaillierte Untersuchung einer allfällig positiven Screeningprobe auf die verschiedenen Varietäten kostet je nach Pflanzenart einige hundert Franken zusätzlich. In den allermeisten Fällen begnügt sich die Lebensmittelindustrie deshalb mit einem auf ihre Bedürfnisse optimierte Screeninganalyse. Positive Befunde, die über einem vom Auftraggeber vorher definierten Gehalt liegen, werden ohne weitere Detailabklärungen gesperrt. Die Schweizer Lebensmittelindustrie untersucht mindestens 3000 Lebensmittelproben pro Jahr auf GVO.

Mindestens fünf Schweizer Privatlaboratorien bieten die Analytik auf GVO in Lebensmitteln an.

Die weitaus höheren Kosten fallen aber durch den Einkauf von teureren GVO-freien Produkten an. Um GVO-freie Ware liefern zu können, müssen komplett getrennte Herstellungslinien, Ernte-, Transport- und Lagermöglichkeiten aufgebaut werden. Zumeist werden auf GV-freie Produkte spezialisierte Zertifizierungssysteme genutzt.

Derart zertifizierte Nahrungsmittel oder Ausgangsmaterialien sind einige Prozent teurer als nicht zertifizierte Produkte. Welchen Einfluss der höhere Einkaufspreis auf den Verkaufspreis hat, hängt stark von der Zusammensetzung und dem Verarbeitungsgrad des jeweiligen Nahrungsmittels ab.

Literatur:

- ¹ James C (2011) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Briefs No. 43. ISAAA, Ithaca, NY, USA.
- ² Stein AJ, Rodriguez-Cerezo E (2010) International trade and the global pipeline of new GM crops. *Nature Biotechnology* 28: 23–25.
- ³ Meissle M, Romeis J, Bigler F (2011) Bt maize and integrated pest management – a European perspective. *Pest Management Science* 67: 1049–1058.
- ⁴ Meissle M, Romeis J, Bigler F (2012) Bt-Mais – Ein möglicher Beitrag zur integrierten Produktion in Europa? *Agrarforschung* 3: 292–297.
- ⁵ Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). www.blw.admin.ch/
- ⁶ Schoenenberger N, D'Andrea L (2012) Surveying the occurrence of subspontaneous glyphosate-tolerant genetically engineered *Brassica napus* L. (Brassicaceae) along Swiss railways. *Environmental Sciences Europe* 24:23.



2. Was ist Grüne Gentechnik und wie unterscheidet sie sich von der konventionellen Züchtung?

- Moderne Züchtung basiert auf der Neukombination von Erbmaterial, um gewünschte Merkmalskombinationen auswählen zu können.
- Die konventionelle Züchtung wird durch die sorgfältige Auswahl von passenden Kreuzungspartnern gesteuert; deren Erbgut kombiniert sich zufällig.
- Mit gentechnischen Methoden werden Veränderungen an einzelnen oder mehreren Genen geplant und gezielt vorgenommen.
- In beiden Züchtungsverfahren ist es notwendig, die Eigenschaften der Pflanzen und ihre Wechselwirkungen mit der Umwelt intensiv zu prüfen.

Die Entwicklung der Landwirtschaft spielte eine entscheidende Rolle für den Fortschritt der Menschheit. Schon die ersten Bauern haben mit der Auslese einer beschränkten Anzahl von Wildpflanzen, die für die Ernährung geeignete Eigenschaften aufwiesen, einen ersten und bedeutenden Züchtungsschritt gemacht. Diese Domestikation der Pflanzen, also ihre Überführung von Wildformen in Kulturformen, war mit starken Veränderungen im Erbgut verbunden und hat Nutzpflanzen hervorgebracht, die vielfach nur noch wenig mit ihren wilden Verwandten gemeinsam haben (Abbildung 2). Um die positiven Eigenschaften der Kulturpflanzen zu erhalten und zu verbessern, wurde über tausende von Jahren die Methode der Auslese (Selektion) angewendet. Die

Bauern wählten die Samen derjenigen Pflanzen für die nächste Aussaat aus, die den Umweltbedingungen am besten angepasst waren und den grössten Ertrag erzielten. Diese Auswahl führte neben einer Ertragssteigerung auch zu anderen Verbesserungen der Eigenschaften der Nutzpflanzen und somit zu den ersten Züchtungslinien. Pflanzenzüchtung und verbesserte Anbaumethoden führten zu grossen Erfolgen in der Landwirtschaft. Beim Weizen zum Beispiel hat sich der Ertrag in der Schweiz seit Mitte des 20. Jahrhunderts fast verdreifacht (Abbildung 3).¹

Abbildung 2. Der Ursprung von Mais. Die Wildform von Mais ist Teosinte (links). Die Pflanze wurde bereits vor ca. 8000 Jahren von der indigenen Bevölkerung Amerikas domestiziert. Durch Auswahl- und Kreuzungsprozesse wurden die Eigenschaften der Nahrungspflanze Mais (rechts) über Jahrtausende hinweg verbessert.



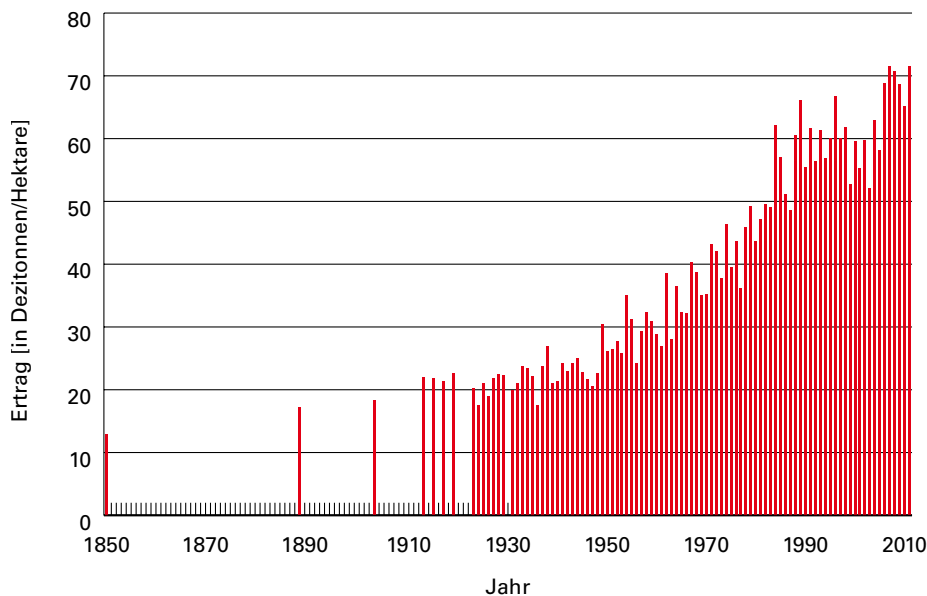


Abbildung 3. Weizenерtrag in der Schweiz von 1850 bis 2011. (Quelle: D. Fossati und C. Brabant, Agroscope)

Die Erfolge der Pflanzenzüchtung sind also letztlich das Ergebnis genetischer Veränderungen der Nutzpflanzen. Prinzipiell lässt sich der Züchtungsprozess in drei Phasen einteilen: 1) Vorhandensein oder Erzeugung genetischer Vielfalt (Variation); 2) Auswahl geeigneter Linien (Selektion); 3) Agronomische Prüfung (Abbildung 4).

Vorhandensein oder Erzeugung genetischer Vielfalt

Genetische Vielfalt ist eine Grundvoraussetzung für jede Art von züchterischer Verbesserung. Um diese Vielfalt zu erhöhen, wird in der Pflanzenzüchtung eine Reihe von Techniken angewendet. Dazu gehört in erster Linie die Kreuzung von Pflanzen mit verschiedenem Erbgut (Genotypen). Dabei werden die Gene der gekreuzten Pflanzen neu gemischt. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Pflanzen sich miteinander kreuzen lassen – sie also sexuell kompatibel sind. Daneben gibt es die Möglichkeit das Erbgut von Pflanzen künstlich zu verändern, indem man sie mit radioaktiven Strahlen (zum Beispiel Gammastrahlen) oder Chemikalien behandelt. Dies erhöht die Anzahl genetischer Veränderungen (Mutationen), was zu neuen Eigenschaften führen kann. Eine Möglichkeit, das Erbgut von nicht-kreuzbaren Pflanzen zu vermischen, besteht darin, sogenannte Protoplasten (Zellen ohne Zellwand) zu ver-

schmelzen. Ein weiteres Verfahren beruht darauf, Keimlinge, die aus inkompatiblen Kreuzungen entstehen, auf Nährmedien zu retten, bevor sie absterben. Bei all diesen Verfahren verändert sich das Erbgut zufällig, und es werden diejenigen Nachkommen ausgesucht, die durch Zufall eine interessante Eigenschaft oder insgesamt bessere Eigenschaften aufweisen als die Ausgangspflanze. Trotz der beträchtlichen Veränderungen ihres Erbguts gelten Pflanzen, die aus diesen Verfahren hervorgehen, nicht als «gentechnisch verändert».

Die Verfahren der Grünen Gentechnik gestatten es ebenfalls, das Erbgut einer Pflanze zu verändern und damit die Grundlage für eine erfolgreiche Züchtung zu legen. Im Vergleich zu den konventionellen Züchtungsmethoden weist die Gentechnik aber zwei entscheidende Unterschiede auf. Zum einen macht sie es möglich, auch Erbmaterial in die Nutzpflanze zu übertragen, das von anderen, nicht-kreuzbaren Pflanzen, von Mikroorganismen oder von Tieren stammt oder das chemisch synthetisiert wurde. Zum anderen erlauben es gentechnische Methoden, dass Eigenschaften, deren genetische Basis aufgeklärt ist, gezielt auf Kulturpflanzen übertragen werden. Die Methoden der Grünen Gentechnik wurden entwickelt, nachdem in den späten 1950er-Jahren die Bausteine und die grundlegenden Tech-

niken der molekularen Biologie entdeckt worden waren. Zwei grundlegende Verfahren, die es ermöglichen, fremdes genetisches Material in Pflanzenzellen zu transportieren und dieses Material in das Erbgut der Zielpflanze einzubinden, werden heute noch breit angewendet. Die gebräuchlichste Methode ist die Infektion von Pflanzenzellen mit dem Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens*, das die Fähigkeit besitzt, ein DNA-Stück auf natürliche Weise in eine verletzte Pflanzenzelle zu transferieren. Beim anderen Ansatz handelt es sich um das mechanische Einbringen von mit DNA beschichteten Partikeln in Pflanzenzellen mit Hilfe einer «Genkanone».

Die gentechnischen Verfahren, die in der Pflanzenzüchtung angewendet werden, entwickeln sich schnell. Es gibt mittlerweile eine Reihe von Methoden, welche die Züchtung von neuen Kultursorten stark beschleunigen können und die Möglichkeiten für die Schaffung präziser Eigenschaften weiter öffnen wie zum Beispiel Resistenzen gegen widrige Umweltbedingungen oder eine verbesserte Nährstoffzusammensetzung.² Der Eingriff in das Erbgut der Kulturpflanzen ist dabei oft minimal. So werden vermehrt arteigene Gene aus Wildpflanzen übertragen. Die resultierenden Kulturpflanzen enthalten dadurch keine fremde DNA mehr und unterscheiden sich kaum oder gar nicht mehr von konventionell gezüchteten. Die geltenden Regulierungen erlauben oft keine eindeutige Einstufung von Kulturpflanzen, die aus diesen Züchtungsmethoden resultieren, da die Grenze zwischen «gentechnischer Veränderung» und «konventioneller Züchtung» verschwindet.³

Auswahl geeigneter Linien

Sobald die genetische Vielfalt in der Ausgangspopulation vorliegt, folgt ein mehrjähriger, intensiver Auswahlprozess. Dieser führt im Idealfall zu einer homogenen Pflanzenpopulation, die nur noch aus einem Erbgut besteht, das die gewünschte Eigenschaft stabil und verlässlich ausprägt. Um die Zeitspanne der Züchtungsschritte zu verkürzen und die Auswahl effizienter zu machen, wer-

den auch in der konventionellen Züchtung genetische Marker gebraucht.⁴ Durch diese Marker kann die Vererbung einer oder mehrerer genetischer Eigenschaften einer Pflanze verfolgt werden (bekannt als «marker assisted breeding»). Sie erspart viel Zeit bei der Suche nach dem passenden Kreuzungspartner und bei der Auswahl der erfolgreichsten Kreuzungen. Dank dieser genetischen Marker kann man hunderte von Sämlingen einfach testen und sehr früh die besten Kandidaten für die nächsten Züchtungsschritte auswählen. Die Marker gestützte Auswahl wird heute weltweit bei einem grossen Anteil der Züchtungsverfahren eingesetzt, unabhängig davon, ob die gewünschte Eigenschaft auf konventionellem Weg oder mit Hilfe gentechnischer Methoden erzeugt wurde. Beim Einbringen von Merkmalen, die nicht von einem einzelnen Gen bestimmt sind, ist es allerdings notwendig, eine Vielzahl von Markern zu verfolgen, was sehr aufwendig ist. In diesen Fällen ist es einfacher, das gesamte Erbgut der Pflanzen zu bestimmen («genomic selection»), was jedoch zur Zeit noch sehr teuer ist.

Die Auswahl geeigneter Kreuzungspartner ist normalerweise ein wesentlicher Züchtungsschritt, sowohl in konventionellen als auch gentechnisch unterstützten Züchtungen. Eine Ausnahme bilden Pflanzen, die ungeschlechtlich (vegetativ) vermehrt werden wie zum Beispiel Apfelbäume oder Weinreben. Nachdem das gewünschte Gen mit molekularen Methoden in die Pflanze eingebracht wurde, müssen diese nicht gekreuzt werden, sondern können direkt ausgewählt und vermehrt werden (Abbildung 4).

Agronomische Prüfung

Sind die Pflanzen mit dem geeigneten Erbgut ausgewählt, werden sie mehrere Jahre lang an verschiedenen Standorten auf ihre agronomischen Eigenschaften und Wechselwirkungen mit der Umwelt getestet, bevor sie in den nationalen Sortenkatalog aufgenommen und angebaut werden können (siehe Kasten S. 19).

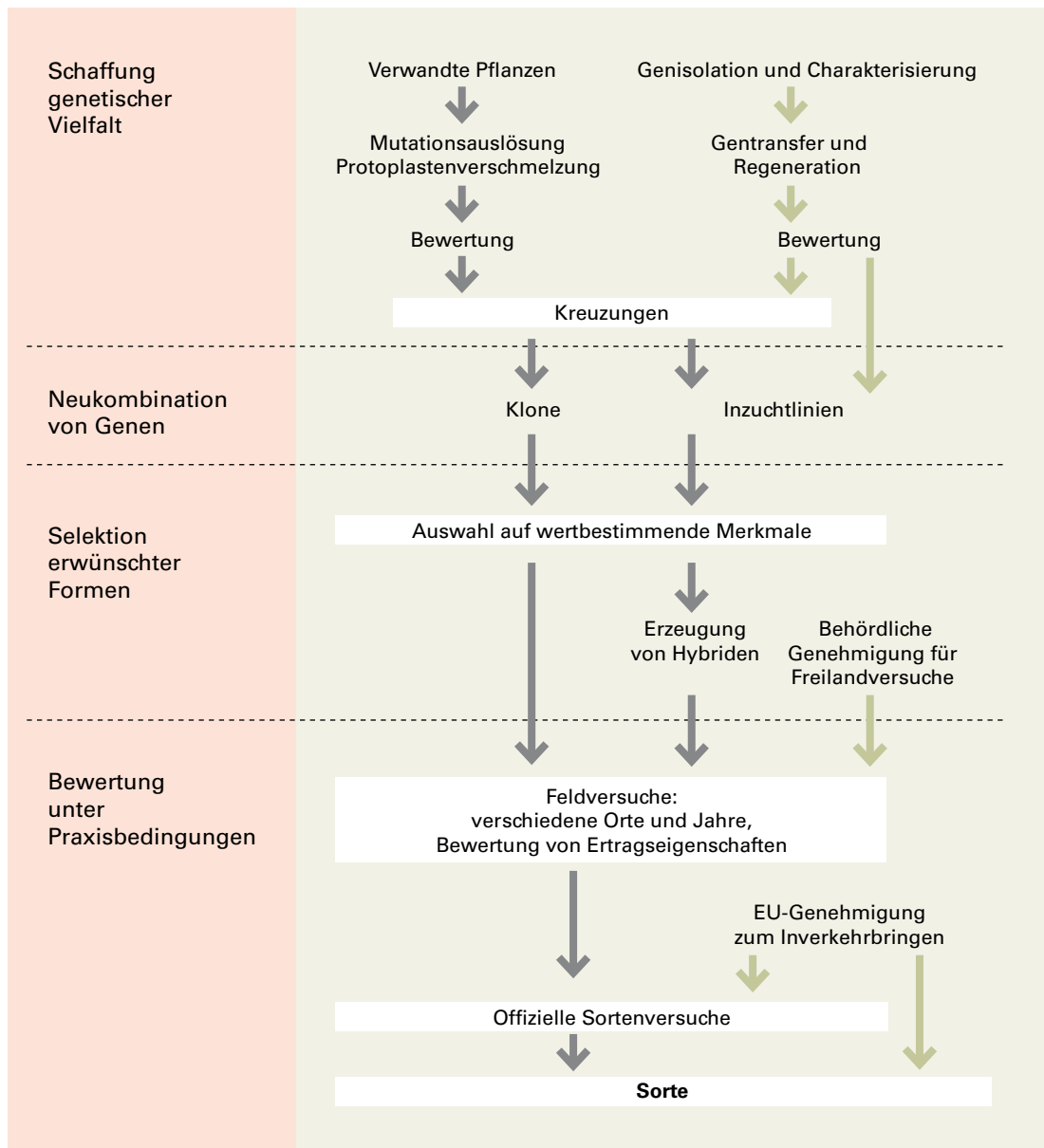


Abbildung 4. Pflanzenzüchtung ohne und mit (grüne Pfeile) GV-Pflanzen in der EU.

Klone: aus ungeschlechtlicher (vegetativer) Vermehrung entstandene Pflanzen; Inzuchtlinien: gänzlich oder nahezu reinerbige (homozygote) Pflanzenlinien; Hybride: Kreuzungsprodukte verschiedener Zuchtlinien. (Quelle: modifiziert nach C. Jung).⁵

Schlussfolgerungen

Vergleicht man die konventionelle Pflanzenzüchtung mit der Grünen Gentechnik, stellt man fest, dass die Unterschiede klein sind. In erster Linie wird die Vielfalt im Ausgangsmaterial für den Züchtungsprozess erhöht, bzw. eine nützliche Eigenschaft eingebracht. Bei konventionellen Methoden ist es schwierig nachzuvollziehen, wie die

Änderungen genau stattfinden. Ausserdem lässt sich nur schwer vorhersehen, welche Kreuzungen das gewünschte Ergebnis erbringen werden. Bei der Anwendung von gentechnischen Verfahren werden einzelne Gene direkt in das Erbgut der Pflanze eingeführt und somit bestimmte Eigenschaften übertragen. Da dadurch langjährige Kreuzungs- und Auswahlverfahren teilweise ab-

gekürzt werden können, vermag die Grüne Gentechnik die Züchtung von gewissen Sorten zu beschleunigen. Auch gibt es bisher keinen Hinweis darauf, dass die Übertragung von artfremdem genetischen Material neue Risiken mit sich bringt. Verglichen mit der konventionellen Züchtung birgt die Grüne Gentechnik daher an sich keine zusätzlichen Risiken für Mensch und Umwelt.⁶ Jede gentechnisch erzeugte Pflanze muss aber, wie die meisten konventionell gezüchteten Pflanzen auch, einen mehrjährigen Auswahlprozess und eine agronomische Prüfung im Freiland durchlaufen, bevor sie angebaut wird. Eine grosse Zahl von Untersuchungen belegt, dass die GV-Sorten, welche dieses Auswahl- und Prüfungsverfahren durchlaufen haben, keine relevanten ungewollten und unerwarteten Effekte zeigen, die ein Risiko für Mensch und Umwelt nach sich ziehen könnten.^{7, 8} Zu diesem Schluss kommen auch

die Studien des Nationalen Forschungsprogramms (NFP 59) und eine neue, umfassende Literaturstudie aus England.⁹

Die Risiken, die mit der Einführung von GV-Pflanzen einhergehen, sind also nicht höher einzuschätzen als die Risiken, die mit auf herkömmliche Weise erzeugten neuen Pflanzen einhergehen. Die Grüne Gentechnik sollte daher als ein weiteres Züchtungsverfahren betrachtet werden. Grundsätzlich sollte also nicht die Methode der Züchtung für die Risikobeurteilung entscheidend sein; den Ausschlag geben sollten vielmehr die Art der Pflanze, ihre Eigenschaften und ihre Wechselwirkung mit der Umwelt. Folglich sollte sich der Fokus der Risikobewertung auf das Produkt der gentechnischen Veränderung richten und nicht auf den Herstellungsprozess.

Zulassung einer neuen Weizensorte in der Schweiz

Die Aufnahme in den nationalen Sortenkatalog wird in der Schweiz mit der Saat- und Pflanzgutverordnung des Eidgenössischen Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF) geregelt¹⁰ und bedingt den erfolgreichen Abschluss von zwei Prüfungen.^{10,11} Die sogenannte DHS-Prüfung («distinction, homogénéité, stabilité») analysiert die Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit der Sorte. Sie ist damit die Grundlage für den Sortenschutz. Die VAT-Prüfung («valeur agronomique et technologique») zielt auf die Eignung für Anbau und Verwendung ab. Die sehr aufwendige DHS-Prüfung erfolgt im Ausland, vor allem aus Gründen der Effizienz. Die VAT-Prüfung muss allerdings in der Schweiz vorgenommen werden, damit die Sorte in den nationalen Sortenkatalog aufgenommen werden kann. Für die VAT-Prüfung werden die neuen Weizensorten typischerweise während zwei Jahren an mehreren Standorten angepflanzt und unter anderem folgende Eigenschaften erhoben: Ertrag, Standfestigkeit, Frühreife, Pflanzenlänge, Resistenz gegen verschiedene Pilzkrankheiten und Backqualität des Mehls.

Seit Inkrafttreten des Agrarabkommens im Juni 2002 erkennen die EU und die Schweiz die Sortenkataloge gegenseitig an. Konventionell gezüchtete Sorten, die in der EU zugelassen sind, können damit auch in der Schweiz angebaut werden. Für GV-Sorten gilt dies nicht: sie müssen separat in der Schweiz bewilligt werden. Darüber hinaus ist für GV-Sorten eine Bewilligung gemäss der Freisetzungsverordnung erforderlich. Das Verfahren ist also wesentlich aufwendiger und langwieriger als für konventionell gezüchtete Sorten und kostet entsprechend mehr.

Literatur:

- ¹ Fossati D, Brabant C (2003) Die Weizenzüchtung in der Schweiz. *Agrarforschung* 10: 447–458.
- ² Lusser M, Parisi C, Plan D, Rodríguez-Cerezo E (2012) Deployment of new biotechnologies in plant breeding. *Nature Biotechnology* 30: 231–239.
- ³ Rodríguez-Cerezo E (2012) Comparative regulatory approaches for new plant breeding techniques. Joint Research Centre, EUR 25237, Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- ⁴ Keller B, Messmer M, Feuillet C, Winzeler H, Winzeler M, Schachermayr G (1995) Molekulare Marker in der Weizenzüchtung. *Agrarforschung* 2: 17–20.
- ⁵ Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (2010) Grüne Gentechnik. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN 978-3-527-32857-4. www.dfg.de/download/pdf/dfg_magazin/forschungspolitik/gruene_gentechnik/broschuere_gruene_gentechnik.pdf
- ⁶ Cellini F, Chesson A, Colquhoun I, Constable A, Davies HV, Engel KH, Gatehouse AMR, Kärenlampi S, Kok EJ, Leguay J-J, Lehesranta S, Noteborn HPJM, Pedersen J, Smith M (2004) Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food and Chemical Toxicology* 42: 1089–1125.
- ⁷ Batista R, Saibo N, Lourenço T, Oliveira MM (2008) Microarray analyses reveal that plant mutagenesis may induce more transcriptomic changes than transgene insertion. *PNAS* 105: 3640–3645.
- ⁸ Herman RA, Chassy BM, Parrott W (2009) Compositional assessment of transgenic crops: an idea whose time has passed. *Trends in Biotechnology* 27: 555–557.
- ⁹ Snell C, Bernheim A, Bergé JB, Kuntz M, Pascal G, Paris A, Ricroch AE (2012) Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. *Food and Chemical Toxicology* 50: 1134–1148.
- ¹⁰ Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF) (2010) Verordnung des WBF über Saat- und Pflanzgut von Acker- und Futterpflanzen- sowie Gemüsearten (Saat- und Pflanzgut-Verordnung) vom 7. Dezember 1998. www.admin.ch/ch/d/sr/916_151_1/index.html
- ¹¹ Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Forschungsanstalten Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) und Reckenholz-Tänikon (ART) (2008) Sorten, Saat- und Pflanzgut in der Schweiz. www.blw.admin.ch/themen/00011/00077/index.html?lang=de



3. Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und Nachhaltigkeit

- Mit gentechnischen Methoden entwickelte Kulturpflanzen können in einer umweltschonenden und ertragreichen Landwirtschaft eingesetzt werden.
- GV-Kartoffeln mit einer nachhaltigen Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule benötigen weniger Spritzeinsätze, was zu verminderter Schadstoffbelastung und zu Kosteneinsparungen führt.
- Gentechnische Verfahren erlauben eine optimierte Züchtung von krankheitsresistenten Obstbäumen in kürzerer Zeit. Krankheitsresistenzen in Obstbäumen verringern den Einsatz von Pilzbekämpfungsmitteln und Antibiotika.
- Zuckerrüben mit einer Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln gestatten es, die Bekämpfungsmassnahmen zeitlich flexibel zu gestalten und so zu optimieren, dass Pflanzenschutzmittel eingespart und die Bodenbearbeitung eingedämmt werden.

Verschiedene gentechnische Ansätze haben zur Entwicklung von Kulturpflanzen beigetragen, die zu einem höheren Ertrag führen und sich zugleich positiv auf die Umwelt auswirken. So kann zum Beispiel durch erhöhte Resistenz der Kulturpflanzen gegen Krankheitserreger und eine Toleranz gegen Unkrautbekämpfungsmittel der Einsatz von Pflanzenschutzmittel und die mechanische Bearbeitung des Bodens eingeschränkt werden. Dies wirkt sich positiv auf die Biodiversität aus, da die Umwelt weniger durch Pflanzenschutzmittel belastet wird. Dank der Reduktion der mechanischen Bearbeitung nimmt zudem der Energieverbrauch von landwirtschaftlichen Be-

trieben deutlich ab und die Bodenverdichtung und Eingriffe in die Bodenfauna werden verringert. Wie auch bei konventionell gezüchteten Pflanzen kann die Entstehung von mehrjährigen Monokulturen durch geeigneten Fruchtwechsel verhindert werden. Dabei ist auch eine nachhaltige Kombination von Tierhaltung und Ackerbau zu verfolgen. Dieses Kapitel stellt drei Kulturpflanzen vor, die mit gentechnischen Methoden gezüchtet wurden oder sich noch in Entwicklung befinden, und die künftig in der Schweiz für eine ertragreiche und umweltschonende Landwirtschaft von Bedeutung sein können.

a) Kartoffeln mit Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule

Zahlen und Fakten zum Kartoffelanbau in der Schweiz

Jährlicher Kartoffelanbau: ca. 11 000 ha, davon 4 Prozent aus Biolandbau

Selbstversorgungsgrad: ca. 90–95 Prozent

Hofeigener Nachbau von selbst erzeugtem Pflanzgut: ca. 20 Prozent

Durch Knollenfäule verursachte Ernteaufälle: weltweit ca. 20 Prozent, in der Schweiz dank intensiven Bekämpfungsmassnahmen bisher sehr gering

Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule

Biolandbau: Sortenwahl, Fruchtfolge und Kupfer (3 kg/ha/Jahr)

Integrierte Produktion und konventioneller Landbau: Sortenwahl, Fruchtfolge und synthetische Pflanzenschutzmittel (8–12 Spritzeinsätze pro Jahr, ca. 5–8 kg/ha/Jahr)

Die im 16. Jahrhundert aus Südamerika eingeführte Kartoffel (*Solanum tuberosum*) entwickelte sich ab Mitte des 17. Jahrhundert in Europa zu einem weit verbreiteten Grundnahrungsmittel. Um 1845 wurde jedoch die Kraut- und Knollenfäule aus Amerika eingeschleppt, die zu gewaltigen Verlusten in den Kartoffelfeldern führte. So starben in Irland zwischen 1845 und 1852 eine Million Menschen an Hunger. Auch in der Schweiz war die Not gross. Erst viele Jahre später konnte *Phytophthora infestans* als Erreger der Pflanzenkrankheit identifiziert werden. Global wird heute noch mit 20 Prozent Ernteverlusten gerechnet, wobei der gleiche Krankheitserreger neben Kartoffeln auch einige andere Pflanzen wie Tomaten befällt. Dank der effizienten Behandlung gibt es in der Schweiz heute kaum mehr Ernteaufälle.

Heutige Massnahmen gegen die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel

Die Schweiz versorgt sich mit Kartoffeln zu 90 – 95 Prozent selbst. Ohne besondere Vorsorgemassnahmen gegen die Kraut- und Knollenfäule wäre ein rentabler Kartoffelanbau nicht möglich. In der Schweiz wird die Krankheit durch Fruchtfolge, tolerantere Sorten und vor allem durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unter Kontrolle gehalten. Die in der Schweiz seit über 50 Jahren immer noch beliebte Kartoffelsorte Bintje ist eine besonders anfällige Sorte.¹ Im biologischen An-

bau, der rund 4 Prozent der Kartoffeln produziert, ist der Einsatz von Kupfer als Bekämpfungsmittel in beschränkten Mengen erlaubt (3 kg/ha/Jahr). Bei der integrierten Produktion (IP) werden synthetische Pflanzenschutzmittel verwendet, aber kaum noch Kupfer. In der EU sind Bestrebungen im Gang, den Einsatz von Kupfer ganz zu verbieten, weil es sich im Boden anreichert und in höheren Konzentrationen für Bodenlebewesen giftig ist.

Mit molekularbiologischen Methoden gewonnene Erkenntnisse sind bedeutend für die Kartoffelzüchtung. So hat ein internationales Konsortium mit 16 teilnehmenden staatlichen Instituten aus Hochschulen und landwirtschaftlichen Forschungsanstalten im Jahr 2011 die gesamte DNA-Sequenz (Genom) der Kartoffel veröffentlicht.² Die Sequenz ist auch ohne gentechnische Eingriffe für konventionelle Züchter sehr hilfreich und erweist sich für die konventionelle Züchtungsanalyse als äusserst nützlich: Aufgrund der DNA Sequenz können Marker identifiziert werden, die es erlauben, gewisse Eigenschaften der neu gezüchteten Pflanzen in der Nachzucht zu verfolgen.

Resistenzen

Schon seit vielen Jahren ist bekannt, dass in verschiedenen nahen Verwandten der Kartoffel, zum Beispiel in einer mexikanischen Wildkartoffel

Abbildung 5. Von Kraut- und Knollenfäule befallene Kartoffelpflanzen entwickeln zuerst einzelne verfärbte Flecken auf den unteren Blättern. Bei feuchtwarmer Witterung vergrössern sich diese rasch und das gesamte Blattwerk stirbt ab. Auch Stängel und andere Pflanzenteile verfärben sich braun. Bei anfälligen Sorten kann so ein erkrankter Kartoffelbestand innerhalb weniger Tage vollständig zusammenbrechen.



(*Solanum bulbocastanum*), Gene vorhanden sind, welche diesen Pflanzen gegen den Erreger der Knollenfäule Widerstandsfähigkeit verleihen. Durch aufwendige traditionelle Züchtungsarbeiten, die über 40 Jahre dauerten, konnte ein solches Resistenzgen in Kartoffeln übertragen werden. Leider zeigte sich, dass der Krankheitserreger die Resistenz relativ rasch überwand. Alle paar Jahre treten neue Stämme des Erregers hervor, die entweder eingewandert oder durch spontane Genveränderungen entstanden sind. Dem Erreger gelingt es so, sich immer wieder an die neuen molekularen Schutzmechanismen der Kartoffelpflanze anzupassen und diese zu umgehen. In der Zwischenzeit wurden mehrere andere Resistenzgene aus verwandten Arten der Kartoffel beschrieben und zum Teil isoliert. Es ist zu erwarten, dass die Resistenz weniger leicht überwunden wird, wenn in der gleichen Pflanze mehrere Resistenzgene eingeführt werden und aktiv sind. Man spricht dabei vom Übereinanderschichten von Genen («gene stacking»)³ Durch jahrelange konventionelle Züchtungen konnten einzelne Kartoffelsorten entwickelt werden, welche mehrere Resistenzgene gegen *Phytophthora infestans* enthalten, zum Beispiel die ungarische Sorte Sarpo Mira.⁴ Die Markteinführung dieser neuen Sorten erweist sich allerdings als schwierig, da

die Kartoffeln zum Teil andere Eigenschaften (zum Beispiel Geschmack, Kochqualität, Lagerfähigkeit) aufweisen als die bekannten Sorten.

Durch gentechnische Methoden ist es einfacher als mit konventioneller Züchtung, mehrere Resistenzgene in Kartoffelsorten einzubringen und so eine nachhaltige Resistenz zu erreichen. Tatsächlich arbeiten verschiedene öffentliche Forschungsinstitute an solchen Projekten.^{3,5} In den Niederlanden wird zurzeit eine Kartoffel in Freilandversuchen getestet, in die mehrere Resistenzgene aus Wildsorten gegen die Pflanzenkrankheit eingebaut wurden. Auch Saatgutfirmen arbeiten an solchen Projekten. So plant BASF eine mit zwei Resistenzgenen aus der mexikanischen Wildkartoffel (Rpi-blb1 und Rpi-blb2) ausgerüstete Kartoffel in wenigen Jahren auf den Markt zu bringen. Die Entwicklung dieser *Phytophthora*-resistenten Kartoffel mit dem Namen «Fortuna» ist abgeschlossen. Das Produkt wurde erfolgreich im Freiland an 11 Standorten in sechs EU-Ländern geprüft und 2010 für die Zulassung in Europa angemeldet. Zurzeit werden weitere für die Sortenzulassung notwendige Feldversuche durchgeführt. Diese Kartoffelsorte wird künftig aber kaum den europäischen Bauern zur Verfügung stehen: Im Januar 2012 hat BASF beschlossen, die

weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Grünen Biotechnologie aus Deutschland in die USA auszulagern.⁶ Dort erwartet die Firma ein forschungs- und marktfreundlicheres Umfeld. Eine Markteinführung der Fortuna-Kartoffel in Europa wird nicht mehr angestrebt.

Aussichten

Die gentechnisch eingeführten Resistenzgene werden es erlauben, die Kartoffelkulturen mit weniger Pflanzenschutzmitteln zu behandeln als bisher: statt mit 8–12 Spritzeinsätzen pro Jahr wird man mit 3–4 auskommen.^{6, 7} Die Erreger anderer Krankheiten, etwa der Pilz *Alternaria solani*, werden weiterhin je nach Intensität der Infektion mit Pflanzenschutzmitteln kontrolliert werden müssen. Die reduzierten Spritzeinsätze führen zu einer geringeren Schadstoffkontamination im Boden, im Wasser und in den Knollen, einer Reduktion des CO₂-Austosses und möglicherweise einer Kostenreduktion für den Landwirt.⁶

Es ist davon auszugehen, dass mit gentechnischen Methoden gezüchtete, krankheitsresistente Kartoffeln verfügbar werden, in Europa wohl mit Verzögerung. Falls sie die Erwartungen der Landwirte und Konsumenten erfüllen, so werden sie in der Landwirtschaft angepflanzt werden. Die Befürchtung, dass GV-Kartoffeln sich in der Schweiz unbeabsichtigt ausbreiten könnten, ist nicht realistisch: In der Schweiz existieren keine mit der Kartoffel verwandten Wildkartoffeln, auf die veränderte Gene ausgekreuzt werden könnten. Zudem werden Kartoffeln durch Knollen, nicht via Samen, vermehrt und verbreiten sich deshalb nicht spontan. Darüber hinaus haben Züchter rund 100 Jahre Erfahrung in der Reinhaltung von zugelassenen Sorten. Der Durchwuchs in einer Kultur des folgenden Jahres ist leicht zu erkennen und zu eliminieren.

In Analogie zu anderen wichtigen landwirtschaftlichen GV-Kulturpflanzen ist zu erwarten, dass GV-Kartoffeln, die gegen Knollenfäule resistent sind, sowohl ökologisch wie auch wirtschaftlich Nutzen bringen werden.

Literatur

- ¹ Hebeisen T, Ballmer T, Musa-Steenblock T, Torche JM and Schwärzel R (2011): Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2012. Agrarforschung Schweiz 2: 11–12.
- ² The Potato Genome Sequencing Consortium (2011): Genome sequence and analysis of the tuber crop potato. Nature 475: 189–196. www.potatogenome.net
- ³ Zhu SX, Li Y, Vossen JH, Visser RGF, Jacobsen E (2011) Functional stacking of three resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato. Transgenic Research 21: 89–99
- ⁴ Rietman H, Bijsterbosch G, Cano LM, Lee HR, Vossen JH, Jacobsen E, Visser RGF, Kamoun S, Vleeshouwers VGAA (2012) Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. Molecular Plant-Microbe Interactions 25: 910–919.
- ⁵ Haverkort AJ, Boonekamp PM, Hutten R, Jacobsen E, Lotz LAP, Kessler GJT, Visser RGF, van der Vossen EAG (2008) Societal costs of late blight in potato and prospects of durable resistance through cisgenic modification. Potato Research 51: 47–57.
- ⁶ Dixelius C, Fagerström T, Sundström JF (2012) European agricultural policy goes down the tubers. Nature Biotechnology 30: 492–493.
- ⁷ Speiser B, Stolze M, Oehen B, Gessler C, Weibel FP, Bravin E, Kilchenmann A, Widmer A, Charles R, Lang A, Stamm C, Triloff P, Tamm L (2013) Sustainability assessment of GM crops in a Swiss agricultural context. Agronomy for Sustainable Development 33: 21–61.

b) Verkürzte Zuchtprogramme für krankheitsresistente Apfelsorten

Im Schweizer Obstbau verursachen Feuerbrand und Schorf erhebliche Ausfälle, wenn die Obstanlagen bei Befall nicht geschützt werden. Der Befall durch den Feuerbrand begann 1989 in der Ostschweiz und hat sich seitdem praktisch über das ganze Land ausgebreitet (Abbildung 6). Feuerbrand ist eine durch das Enterobakterium *Erwinia amylovora* hervorgerufene Infektion. Der Hauptbefall geschieht während der Blüte. Die Bakterien gelangen durch die natürlichen Öffnungen der Blütennarbe in die Pflanze. Nach mechanischer Schädigung der Bäume, zum Beispiel durch Hagelschlag, können sich Bakterien den Eintritt durch Wunden verschaffen und können junge Triebe sogar direkt infizieren. Das befallene Gewebe stirbt und verfärbt sich im Sommer braun bis schwarz (Abbildung 7). Befallsraten sind stark von den Witterungsbedingungen abhängig, besonders während der Blütezeit. Feuerbrand kann durch den Einsatz von Antibiotikum wie zum Beispiel Streptomycin bekämpft werden. Alternativen sind zum Beispiel der Einsatz von Kupfer,

Wachstumsregulatoren oder essigsaurer Tonerde. Ein radikaler Rückschnitt befallener Triebe kann die Ausbreitung stoppen. Auch natürliche Gegenspieler des Bakteriums (andere Bakterien sowie Hefen) werden vermehrt eingesetzt. Der Wirkungsgrad dieser Produkte erreicht aber höchstens 60 Prozent.¹ 2007 wurden Obstplantagen in der Schweiz stark von Feuerbrand befallen und es mussten mehr als 100 ha Erwerbsanlagen gerodet und verbrannt werden.² Seit 2008 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) Sonderbewilligungen zum Einsatz von Streptomycin gegen Feuerbrand erteilt und es wurden jährlich Obstanlagen gegen Feuerbrandbefall mit Streptomycin behandelt (siehe Kasten). In Früchten sind bisher keine Rückstände von Streptomycin über dem Grenzwert von 0,01 mg Streptomycin pro kg Frucht gemessen worden. Im Honig wurde dieser Messwert jedoch überschritten; daher mussten im Jahr 2011 9400 kg Honig vernichtet werden, wofür die Obstbauern den Imkern Entschädigungen zu entrichten hatten.²



Abbildung 6. Feuerbrand trat in der Schweiz erstmals 1989 in den Kantonen Schaffhausen, Thurgau und Zürich auf. Im Jahr 2007 war nur noch der Kanton Obwalden befallsfrei (Quelle: E. Holliger, Agroscope).³



Abbildung 7. Ein mit Feuerbrand befallener Apfelbaum sieht aus wie verbrannt (daher der Name der Pflanzenkrankheit): Blüten und Blätter welken und verfärben sich braun bis schwarz.

Streptomycineinsätze in Schweizer Obstanlagen

Seit 2008 besteht eine Sonderbewilligung, die es ermöglicht, Feuerbrand mit Antibiotikabehandlungen zu bekämpfen. Der Grenzwert für Rückstände auf Lebensmitteln beträgt 0,01 mg Streptomycin pro kg.¹

Jahr	Gemeinden	kg Wirkstoff (Streptomycin)	Anzahl Honigproben über Grenzwert	kg Honig vernichtet
2008	144	453	50	3500
2009	134	303	3	260
2010	138	201	4	120
2011	121	186	81	9400

Apfelschorf wird durch den Schlauchpilz *Venturia inaequalis* verursacht und muss weltweit mehr oder weniger regelmässig mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. Andernfalls entstünden grosse Ernteverluste. Befallene Bäume weisen Flecken auf Blättern und Früchten auf. Die Früchte können deformiert sein und die befallenen Blätter können vorzeitig abfallen. Die Primärfektion erfolgt im Frühling von am Boden liegenden, kranken Blättern des Vorjahres. Feuchte und kühle Witterung begünstigen die Infektion. Sowohl die Wahl der Sorte als auch vorbeugende Massnahmen können den Befall einschränken: Es gilt, das Falllaub zu beseitigen und durch Schnitt und Form der Bäume ihre Belüftung zu erhöhen. Mit dem Einsatz von synthetischen Pilzbekämpfungsmitteln (Integrierte Produktion: mehrere Behandlungen pro Jahr), oder Schwefel- und Kupferprä-

paraten (Biolandbau: 18–25 jährliche Behandlungen pro Baum) wird die Krankheit behandelt.

Zusätzlich zu mechanischen Massnahmen und zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln können Krankheitserreger auch durch eine Resistenzsteigerung der Wirtspflanzen bekämpft werden. Sowohl gegen Feuerbrand als auch gegen Apfelschorf haben Wildpflanzen Abwehrmechanismen entwickelt. Die Informationen zur Abwehr sind oft in mehreren Resistenzgenen gespeichert. In der Schweiz entwickeln die Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil und die Abteilung Pflanzenpathologie der ETH Zürich mit konventioneller Züchtung und mit gentechnischen Methoden neue, gegen die Krankheitserreger resistente Apfelsorten. Resistente Obstbäume benötigen eine geringere Anzahl von Behandlungen (synthetische

Pilzbekämpfungsmittel, Antibiotika und Kupfer) und führen somit zu weniger Maschineneinsätzen in den Obstanlagen und einer verminderten Belastung der Umwelt.

Obstbäume können sich nicht selbst befruchten und werden vegetativ (ungeschlechtlich ohne Samen) vermehrt. Aus diesem Grund ist das Erbgut aller Apfelbäume (*Malus domestica*) der gleichen Sorte identisch. Zur Züchtung neuer krankheits-resistenter Apfelsorten werden die Bäume mit Wildpflanzen gekreuzt. Da bei den Nachkommen die Hälfte des Erbgutes von der Wildpflanze stammt, gehen viele Eigenschaften von verzehrbaren Äpfeln verloren. Diese müssen durch Kreuzungen mit verschiedenen Hochleistungssorten wiedergewonnen werden, was mehrere Generationen benötigt. Dabei entstehen neue Sorten mit veränderten Eigenschaften, zum Beispiel betreffend Geschmack, Haltbarkeit und Kulturbedingungen. Die Entwicklung einer Apfelsorte mit neuen Eigenschaften dauert bedingt durch die lange Generationszeit von Bäumen deshalb etwa 20 – 30 Jahre. Verschiedene Schorf-resistente Apfelsorten sind so in den letzten Jahrzehnten entwickelt worden. Da diese aber andere Geschmackseigenschaften aufweisen als die bekannten und beliebten Sorten, werden sie vom Markt nur sehr zögerlich oder gar nicht akzeptiert.

Durch Einbezug gentechnischer Methoden in die Züchtung können einzelne Gene in eine schon bestehende Sorte übertragen werden. Aus der Erbinformation von Wildpflanzen werden die Resistenzgene isoliert und mit gentechnischen Verfahren in die Erbinformation der Kultursorte übertragen. Diese erhält dadurch zusätzlich zu den schon vorhandenen Merkmalen eine höhere Resistenz gegen den Krankheitserreger.⁴ Damit bleibt der Sortencharakter erhalten, und es entsteht ein Produkt, das im Markt schon etabliert ist, aber durch einzelne Merkmale verbessert wurde. Die zeitaufwendigen Kreuzungen mit anderen Kultursorten fallen weg. Die Entwicklungszeit zur Marktreife lässt sich dadurch auf etwa 10 Jahre verkürzen. So hat zum Beispiel eine nieder-

ländische Forschungsgruppe durch das Einbringen eines Gerstengens (Hordothionin) der Apfelsorte Gala Widerstandsfähigkeit gegenüber Schorf verliehen und diese in einem vierjährigen Feldversuch belegt.⁵ Auch Apfellinien mit Resistenz gegenüber Feuerbrand konnten mit Hilfe von gentechnischen Methoden gezüchtet und während 12 Jahren in Freilandversuchen erfolgreich angepflanzt werden.⁶

Bei einem weiteren Verfahren wird die sexuelle Reife der Kultursorte beschleunigt. Eine Apfelpflanze blüht im Normalfall nach ca. 6 Jahren. Durch die Übertragung und Erhöhung der Aktivität eines Birkengens in Apfelbäumen ist es Forschern gelungen, die sexuelle Reifezeit (d. h. vom Samen bis zur ersten Blüte) von ca. 6 Jahren auf 1 Jahr zu reduzieren. Somit wird die Züchtungszeit für eine neue Sorte, von der ersten Kreuzung mit einem Wildapfel bis zur letzten von 4 – 7 Rückkreuzungen, stark verkürzt. Da das Birkengen immer nur an die Hälfte der Nachkommenschaft vererbt wird, kann es durch die Weiterverwendung der Nachkommenschaft, welche das Birkengen nicht mehr enthält, entfernt werden. Mit dieser Methode dienen GV-Pflanzen zur Herstellung der später verwendeten Kultursorten, diese sind aber selber keine GV-Pflanzen mehr und besitzen somit die sexuelle Reifezeit der ursprünglichen, nicht-veränderten Sorte.⁷

Die Akzeptanz von GV-Pflanzen seitens der Landwirte und Konsumenten scheint grösser zu sein, wenn arteigene Gene anstelle von artfremden in die Wirtspflanzen übertragen werden. Das heisst, das Erbgut der Kulturpflanze wird durch Zufügen von einem Gen aus einer kreuzbaren, sexuell kompatiblen Pflanze verändert. Anstelle von Kreuzungen wird aber für die Übertragung des Gens auf die Gentechnik zurückgegriffen. Diese Technik wird Cisgenetik genannt (siehe Kasten). Die ersten cisgenen Apfelsorten wurden bereits erfolgreich entwickelt und werden zurzeit im Feld getestet.⁴ Die Kosten für ein solches Experiment sind in der Schweiz zu hoch, weswegen die Versuche in Ländern wie den USA und Holland durchgeführt werden.

Cisgenetik

Genetische Veränderung einer Wirtspflanze durch ein oder mehrere Gene von Pflanzen, die mit der Wirtspflanze sexuell kompatibel und kreuzbar sind. Die Gene werden mit gentechnischen Methoden in die Wirtspflanze übertragen.

Literatur:

- ¹ Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). www.blw.ch/admin/
- ² Holliger E, Schoch B, Bünter M (2012) Das Feuerbrandjahr 2011. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 5:12.
- ³ Agroscope. www.agroscope.admin.ch/feuerbrand
- ⁴ Gessler C (2011) Cisgenic disease resistant apples: a product with benefits for the environment, producer and consumer. *Outlooks on Pest Management* 22 (5): 216–219.
- ⁵ Krens FA, Schaart JG, Groenwold R, Walraven AEJ, Hesselink T, Thissen JTNM (2011) Performance and long-term stability of the barley hordeothionin gene in multiple transgenic apple lines. *Transgenic Research* 20:1113–1123.
- ⁶ Borejsza-Wysocka E, Norelli JL, Aldwinckle HS, Malnoy M (2010) Stable expression and phenotypic impact of attacin E transgene in orchard grown apple trees over a 12 year period. *BMC Biotechnology* 10:41.
- ⁷ Flachowsky H, Le Roux PM, Peil A, Patocchi A, Richter K, Hanke MV (2011) Application of a high-speed breeding technology to apple (*Malus x domestica*) based on transgenic early flowering plants and marker-assisted selection. *New Phytologist* 192: 364–377.

c) Gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln tolerante Zuckerrüben

Die Zuckerrübe ist für die Schweizer Landwirtschaft eine wichtige Kulturpflanze. Annähernd der gesamte in der Schweiz konsumierte Zucker stammt aus einheimischen Rüben und wird in zwei Zuckerfabriken verarbeitet. Für den Biolandbau ist diese Kulturpflanze von geringer Bedeutung, da der Mehraufwand an Handarbeit für die Unkrautbekämpfung bei 180 Stunden pro Hektare liegt und auf unter 100 Stunden gesenkt werden müsste, um die Kosten für die Rüben auf ein bezahlbares Niveau zu drücken. 2012 wurden in der Schweiz von etwa 18 500 Hektaren Zuckerrübenanbau nur 14 Hektaren mit Bio-Zuckerrüben bepflanzt, was nicht einmal 0,1 Prozent entspricht.

Die Zuckerrübe (*Beta vulgaris*) gehört wie andere Rüben zur Familie der Amaranthaceen. Sie wurde durch konventionelle Züchtung zur heutigen Form und Grösse gebracht und ihr Zuckergehalt

auf bis zu 18 Gramm Zucker pro 100 Gramm Frischgewicht erhöht. Der Rübenantrag liegt bei etwa 50 – 100 Tonnen/ha, einzelne Rüben wiegen gegen 1 kg.

Zuckerrüben blühen erst im zweiten Jahr, sodass im praktischen Anbau keine Samen entstehen. Klimatische Faktoren können allerdings bei einigen Sorten zu einer frühen Schossbildung führen, also zu einer Blüte schon im ersten Jahr. Die Samen sind mehrkeimig und weisen eine sehr unregelmässig strukturierte Samenhülle auf. Deshalb ist die Einzelkornsaat schwierig und kann nur durch eine Verarbeitung zu Pfefferkorn-grossen Kügelchen vereinzelt werden, wobei die Samen auch mit einer Schutzschicht aus Dünge- und Pflanzenschutzmitteln überzogen werden (pillieren). Das Saatgut wird mit einer Einzelkornsämaschine reihenweise in den sorgfältig

vorbereiteten Boden eingebracht. Die Ernte erfolgt meistens mit grossen Vollerntemaschinen, welche die Rüben köpfen, aus dem Boden heben und vorreinigen.

Einige wichtige Krankheiten, die durch Pilze, Bakterien oder Virusinfektion ausgelöst werden, können zu merklichen Ertragsausfällen führen (Mehltau, Gürtelschorf, Blattflecken, Rübenfäule, Rhizomania).¹ Bei den tierischen Schädlingen ist vor allem das Rübenkopffälchen, ein Fadenwurm, von Bedeutung. Mehr oder weniger resistente Sorten sind mit konventionellen oder auch gentechnischen Methoden (Resistenz gegen Rhizomania) gezüchtet worden.

Das grösste Problem im Rübenanbau aber stellt das Unkraut dar (Abbildung 8). Während der 4. bis 8. Woche nachdem der Pflanzenkeim den Boden durchstossen hat (Auflaufen), vertragen Zuckerrüben die Konkurrenz durch Unkräuter sehr schlecht. Diese können entweder mechanisch oder chemisch unter Kontrolle gebracht werden. Die mechanische Unkrautbeseitigung ist sehr aufwendig. Die Behandlung mit Unkrautbekämpfungsmitteln ist aber ebenfalls anspruchsvoll, da der Erfolg von der richtigen Dosierung verschiedener Mittel zu bestimmten Zeitpunkten abhängt. In der Schweiz werden Zuckerrüben meist dreimal mit Mischungen von Unkrautbekämpfungsmitteln behandelt.² Da die Bekämpfung von mehrjährigen Unkräutern in Rüben schwierig und teuer ist, werden die unerwünschten Pflanzen bereits im Jahr zuvor in Kulturen bekämpft, die in der Fruchtfolge vor den Zuckerrüben angebaut werden.

Der Einsatz von gentechnisch veränderten, gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln toleranten Rüben erleichtert die Unkrautkontrolle, denn der

Zeitpunkt, zu dem gespritzt werden muss, ist flexibler und das verwendete Unkrautbekämpfungsmittel (Glyphosat) ermöglicht eine breite und effektive Bekämpfung der Unkräuter. Ausserdem hat Glyphosat bessere Umwelteigenschaften als die anderen Unkrautbekämpfungsmittel. Dadurch werden sowohl die Rüben selbst als auch die Umwelt weniger geschädigt. Dies kann die Erträge steigern und die Kosten bei der Unkrautkontrolle senken. Berechnungen der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon haben ergeben, dass unter Schweizer Bedingungen einen um bis zu 40 Prozent höheren Gewinn (+ 640 CHF/ha) erwirtschaftet werden könnte.³ Des Weiteren können die Landwirte den Einsatz der Unkrautbekämpfungsmittel zeitlich flexibler gestalten und die Bodenbearbeitung bis hin zur Direkteinsaat, die ohne Pflügen auskommt, einschränken. Dies ermöglicht Unkrautbekämpfungsstrategien, welche den Boden schonen und die Biodiversität im Feld erhöhen, ohne den Ertrag zu mindern.⁴

Seit 2006 sind gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln tolerante Rüben in den USA provisorisch zugelassen und werden kommerziell angebaut. Bemerkenswert ist, dass bereits im Jahr 2009 auf 95 Prozent der Anbaufläche diese neuen GV-Rüben angepflanzt wurden, was zu einer extrem kurzfristigen Änderung der Unkrautbekämpfung führte. Der Anbau der GV-Rüben führte zu einer Verringerung der Behandlungen mit Unkrautbekämpfungsmitteln und einer Reduktion der Umweltbelastung um 40 Prozent (bezogen auf den Environmental Impact Quotient EIQ).⁵ Anfang 2012 hat das US Landwirtschaftsdepartement (USDA) eine definitive Anbaubewilligung erteilt.

Abbildung 8. Das Unkraut stellt das grösste Problem im Zuckerrübenanbau dar, da die langsam wachsenden Rüben Konkurrenz schlecht ertragen. Unkraut auf den Rübenfeldern vermindert den Ertrag und erschwert die Ernte und Verarbeitung.



Gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln tolerante Zuckerrüben sind bisher in Europa nicht zugelassen. GV-Rüben wurden während mehrerer Jahre in Feldversuchen in Wetzze und Üpplingen in Deutschland von der Firma KWS getestet.⁶ Ein Zulassungsantrag für den Anbau der GV-Rübe in der EU wurde bereits im Jahre 2000 gestellt. Sie könnte auch in Europa eine grosse Akzeptanz finden.⁷

Literatur

- ¹ Schweizerische Fachstelle für Zuckerrübenbau. www.zuckerruebe.ch/deutsch/krankheiten.htm
- ² Schweizerische Fachstelle für Zuckerrübenbau (2000). Unkrautkontrolle. Der Rübenpflanzer. www.zuckerruebe.ch/pdf/sonderausgabe.PDF
- ³ Albisser Vögeli G, Burose F, Wolf D, Lips M (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART). www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?aid=26502&lang=de&pid=26931
- ⁴ May MJ, Champion GT, Dewar AM, Qi A, Pidgeon JD (2005) Management of genetically modified herbicidetolerant sugar beet for spring and autumn environmental benefit. *Proceedings of the Royal Society B* 272: 111–119.
- ⁵ Dillen K, Demont M, Tillie P, Rodriguez Cerezo E (2012) Bred for Europe but grown in America: the case of GM sugar beet. *New Biotechnology* 30: 131–135.
- ⁶ Nichterlein H, Matzk A, Kordas L, Kraus J, Stibbe C (2012) Yield of glyphosate-resistant sugar beets and efficiency of weed management systems with glyphosate and conventional herbicides under German and Polish crop production. *Transgenic Research*, doi: 10.1007/s11248-012-96778-z.
- ⁷ Coyette B, Tencalla F, Brants I, Fichet Y, Rouchouze D (2002) Effect of introducing glyphosate-tolerant sugar beet on pesticide usage in Europe. *Pesticide Outlook* 13, 219–223.



4. Beiträge von GV-Pflanzen zu einer nachhaltigen Landwirtschaft – internationale Erfahrungen

- Krankheitsresistente Sorten können Ertragsverluste verhindern und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduzieren.
- Der grossflächige Anbau von schädlingsresistenten Kulturpflanzen kann Schädlingspopulationen nachhaltig verkleinern.
- Der Anbau von gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln toleranten Sorten verringert die Bodenbearbeitung und wirkt sich positiv auf die Bodenqualität und die CO₂-Bilanz aus.

a) Virus-resistente Papaya auf Hawaii

Eine wichtige Krankheit der Papaya (*Carica papaya*) ist das Papaya Ringspot Virus (PRSV). Die Krankheit wird von Blattläusen übertragen. Resistenzen gegenüber dem PRSV sind im Erbgut von Papaya bisher nicht gefunden worden, was eine konventionelle Züchtung von resistenten Sorten verunmöglicht. Mitte der 1990er-Jahre führte die Krankheit fast zum völligen Zusammenbruch der Papayaproduktion auf Hawaii, einem der Hauptanbauggebiete der USA. Da die Papaya-Krankheit schon seit den 1940er-Jahren bekannt war, arbeiteten Wissenschaftler der Cornell University bereits an einer Virus-resistenten Papaya. Sie entwickelten GV-Papaya-Pflanzen, die Gene des Virus enthielten. Die Virusvermehrung wurde dadurch blockiert. Feldversuche in Hawaii wäh-

rend des grossen Krankheitsausbruchs haben gezeigt, dass eine der GV-Papaya-Linien gegenüber dem Virus vollkommen resistent ist. Innerhalb von nur drei Jahren hat diese Pflanze alle gesetzlichen Zulassungsverfahren erfolgreich durchlaufen und wird seit 1998 kommerziell angebaut. 2008 waren 80 Prozent der Papaya auf Hawaii GV-Pflanzen. Der grossflächige Anbau dieser GV-Papaya-Pflanzen hat zu einem starken Rückgang der Krankheit auf Hawaii geführt und wirkt als Ausbreitungsbarriere.¹ Dadurch wurde auch in kleinem Masse wieder eine Papaya-Produktion mit konventionellen, nicht-GV-Sorten möglich. Der bedeutendste Markt für die GV-Papaya ist die USA. Ein anderer wichtiger Markt, Japan, hat erst im 2011 die Einfuhr der GV-Früchte erlaubt.

Literatur

¹ Fuchs M, Gonsalves D (2007) Safety of virus-resistant transgenic plants two decades after their introduction: lessons from realistic field risk assessment studies. Annual Review of Phytopathology 45: 173–202.

b) Grossflächige Bekämpfung des Maiszünslers in den USA

Die Raupen des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*), eines Kleinschmetterlings, gehören zu den wichtigsten Schädlingen von Mais (*Zea mays*) in den USA und in Europa. GV-Maissorten, welche Proteine des Bakteriums mit dem Namen *Bacillus thuringiensis* produzieren (Bt-Toxine), sind resistent gegenüber dem Maiszünsler. Diese Bt-Maissorten werden in den USA seit 1996 angebaut. In den letzten Jahren betrug ihr Anteil mehr als 60 Prozent der gesamten Maisanbaufläche.¹

Die erfolgreiche und effiziente Bekämpfung des Schädlings hat bei den Landwirten, die Bt-Maissorten anbauen, zu deutlichen Einsparungen geführt. Trotz des höheren Preises von Bt-Saatgut erwirtschafteten die Landwirte in den fünf wich-

tigsten Maisanbaustaaten zwischen 1996 und 2009 einen Mehrertrag von geschätzten 2,6 Milliarden Dollar. Der grossflächige Anbau von resistenten Sorten über Jahre hinweg hat dazu geführt, dass die Maiszünslerpopulation deutlich zurückgegangen ist. Daher war die Einsparung bei Landwirten, die konventionelle Maissorten angepflanzt haben und keine Zusatzausgaben für teures Saatgut zu leisten hatten, mit rund 4,3 Milliarden Dollar noch deutlich höher.² Die grossflächige Reduktion der Schädlingspopulation hat vermutlich auch in anderen Kulturen Auswirkungen gehabt, da der Maiszünsler zum Beispiel auch als Schädling von Kartoffeln, Bohnen und Paprika auftritt.

Literatur

- ¹ USDA-ERS (2011) Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S.: Corn Varieties. Economic Research Service, United States Department of Agriculture. www.ers.usda.gov/data/biotechcrops/extentofadoptiontable1.htm
- ² Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, Moon RD, Leslie TW, Fleischer SJ, Abrahamson M, Hamilton KL, Steffey KL, Gray ME, Hellmich RL, Kaster LV, Hunt TE, Wright RJ, Pecinovsky K, Rabaey TL, Flood BR, Raun ES (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science* 330: 222–225.

c) Baumwollanbau fast ohne Einsatz von Insektenbekämpfungsmitteln in Australien

In Australien werden seit 1996 GV-Sorten von Baumwolle (*Gossypium hirsutum*) kommerziell angebaut, um wie beim Mais schädliche Schmetterlinge zu kontrollieren. Während bis 2004 Sorten zur Verfügung standen, die nur ein einzelnes Insekten bekämpfendes Bt-Toxin enthielten, werden seither Sorten verwendet, die zwei verschiedene Bt-Toxine produzieren. Diese neueren Sorten wirken einer Resistenzentwicklung in den Schädlingen entgegen und bieten eine bessere Bekämpfung der verschiedenen Arten von Schadschmetterlingen. Im Jahre 2010 wurden Bt-Sorten

auf 90 Prozent der gesamten australischen Baumwoll-Anbaufläche gepflanzt.

Eine Analyse des Einsatzes von Insektenbekämpfungsmitteln zeigt, dass im Anbau mit Doppel-Bt-Sorten die Anzahl von Spritzungen um 80–90 Prozent zurückgegangen ist.¹ Die Menge an ausgebrachten Wirkstoffen ist damit um 65–75 Prozent gefallen. Inzwischen haben die GV-Sorten die konventionellen Baumwollsorten in Australien abgelöst und schonen die Umwelt.

Literatur

¹ Fitt GP (2008) Have Bt crops led to changes in insecticide use patterns and impacted IPM?

In: Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops with IPM Systems.

Ed by Romeis J, Shelton AM, Kennedy GG, Springer, pp 303-328.

d) Gegenüber Unkrautbekämpfungsmittel toleranter Raps fördert die schonendere Bodenbearbeitung in Kanada

Kanada ist der grösste Produzent von Raps (*Brassica napus*) der Welt. Sorten, die eine Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln aufweisen, werden dort auf ca. 95 Prozent der Rapsanbaufläche gepflanzt. Neben Sorten, die mit Hilfe der gentechnischen Methoden erzeugt wurden, schliesst dies auch konventionell gezüchtete Sorten ein. Der Anbau von toleranten Rapssorten hat nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern auch positive Auswirkungen auf die Umwelt. Dazu gehört die Reduktion des Einsatzes von Unkrautbekämpfungsmitteln. Die Einführung von toleranten Sorten im Jahr 1996 hat massgeblich dazu beigetragen, dass der Einsatz des Pfluges zur Unkrautbekämpfung verringert werden konnte. Vor allem der gänzlich pfluglose Anbau hat deutlich

zugenommen (Abbildung 9).¹ Diese Massnahmen führen zu einer verbesserten Bodenqualität und wirken der Erosion entgegen. Neuere Berechnungen zeigen, dass auch die CO₂-Bilanz des Rapsanbaus deutlich verbessert wurde.² Durch die schonendere Bodenbearbeitung vermag der Boden mehr CO₂ zu binden. Dazu kommt, dass die durch das Pflügen erfolgte CO₂-Freisetzung minimiert wird. Berechnungen belegen, dass im Vergleich zu konventionell bearbeiteten Flächen insgesamt etwa eine Million Tonnen Kohlenstoff pro Jahr weniger in die Atmosphäre gelangt. Das entspricht etwa 22 Milliarden gefahrenen Autokilometern (angenommener Mittelwert: 166 g CO₂ pro km).

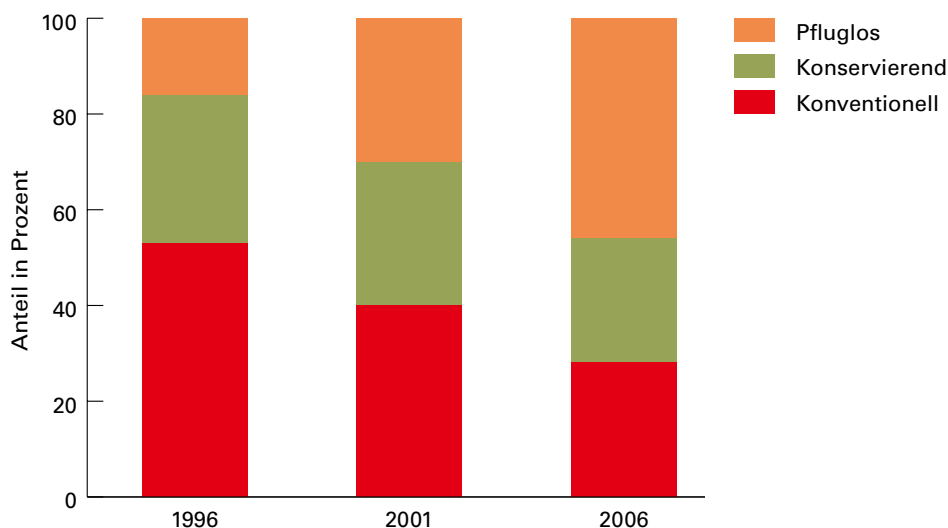


Abbildung 9. Änderung der Bodenbearbeitung in Kanada seit Einführung von Rapssorten mit einer Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln in 1996.¹

Literatur

- ¹ Macdonald P (2011) The Canadian experience with novel herbicide tolerant canola.
Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 6 (Suppl 1): 91–97.
- ² Smyth SJ, Gusta M, Belcher K, Phillips PWB, Castle D (2011)
Environmental impacts from herbicide tolerant canola production in Western Canada.
Agricultural Systems 104: 403–410.



5. Herausforderungen beim Anbau von GV-Pflanzen

- Potenzielle negative Wirkungen von GV-Pflanzen auf Mensch und Umwelt werden seit mehr als 10 Jahren wissenschaftlich untersucht. Bisher konnten keine Risiken aufgezeigt werden, die spezifisch für Pflanzen sind, die mit Hilfe der Gentechnik entwickelt wurden. Gegenüber konventionellen Kulturen können GV-Pflanzen unter Umständen die Biodiversität fördern.
- Das Risiko der Auskreuzung von GV-Sorten auf konventionelle Sorten und die Vermischung von Samen ist je nach Pflanzenart unterschiedlich gross und kann in den meisten Fällen durch gezielte Massnahmen stark reduziert oder ganz verhindert werden.
- Koexistenzregulierungen sollten an die verschiedenen Kulturpflanzen angepasst und flexibel gehandhabt werden sowie die Absprache von benachbarten Betrieben ermöglichen.
- Resistenzentwicklungen wurden in Unkräutern und Schädlingen beobachtet, sind aber ein allgemeines Problem bei Pflanzenschutzmitteln und nicht spezifisch für GV-Kulturen. Im Gegenteil, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann durch GV-Kulturen reduziert werden.
- Sortenzüchtung und Saatguthandel sowohl von GV- als auch konventionell gezüchteten Pflanzen werden zunehmend von wenigen, global agierenden Firmen betrieben. Eine stärkere Förderung der öffentlichen Agrarforschung und -züchtung könnte der Abhängigkeit der Landwirte von Agrarfirmen entgegenwirken.

GV-Pflanzen und -Nahrungsmittel werden in der Gesellschaft oft als gefährlich wahrgenommen. Auch ist die Überzeugung verbreitet, dass GV-Pflanzen die einheimische Flora verdrängen und sich negativ auf die Biodiversität auswirken. Die Schlussfolgerung des Nationalen Forschungspro-

grammes (NFP 59) lautet hingegen, dass die gentechnische Züchtung nicht gefährlicher für den Menschen und seine Umwelt ist als die konventionelle Züchtung (siehe Kasten). In diesem Kapitel werden verschiedene Risiken diskutiert.

Hauptresultate des Nationalen Forschungsprogramms NFP 59

- Der Anbau von GV-Pflanzen ist mit keinen Umweltrisiken verbunden, die nicht auch für konventionell gezüchtete Pflanzen bestehen.
- Der Konsum von gehandelten GV-Pflanzen ist für die Gesundheit von Mensch und Tier unbedenklich.
- Die Koexistenz von Anbauflächen mit und ohne GV-Pflanzen ist auch in der Schweiz möglich und mit geringen Mehrkosten verbunden.
- Die Akzeptanz der Grünen Gentechnik in der Schweizer Bevölkerung ist gering, allerdings wünscht die grosse Mehrheit der Konsumentinnen und Konsumenten Wahlfreiheit.
- Freilandversuche mit GV-Pflanzen sind in der Schweiz mit erheblichem Aufwand für Bewilligungsverfahren und Mehrkosten für Sicherheitsmassnahmen verbunden.
- Ein langfristiges Moratorium für den kommerziellen Anbau von GV-Pflanzen ist mit der aktuellen Bundesverfassung nicht vereinbar.

a) Auskreuzung und Koexistenz

In Europa wird die mögliche Vermischung von GV-Produkten mit konventionellen Produkten als eine bedeutende Herausforderung betrachtet, obwohl zugelassene GV-Sorten als sicher für Mensch und Umwelt beurteilt worden sind. Auch wird befürchtet, dass sich GV-Nutzpflanzen mit konventionellen Nutzpflanzen oder verwandten Wildpflanzen kreuzen und verbreiten. Die Reglementierungen in der EU und der Schweiz schreiben vor, dass beim Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen die Produktion ohne Gentechnik zu schützen ist. Damit muss in der Landwirtschaft die sogenannte Koexistenz – ein Nebeneinander von konventionellen und gentechnischen Produktionsmethoden – gesetzlich geregelt und ermöglicht werden. Dabei sind die Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten zwischen GV-Produkten und Produkten frei von Gentechnik sowie der Schutz empfindlicher Lebensräume zu gewährleisten. In der Schweiz und in der EU wird eine Vermischung von GV- mit konventionellen Produkten bis zu einem Grenzwert von 0,9 Prozent toleriert, in der Schweiz gilt zusätzlich für Saatgut ein Toleranzwert von 0,5 Prozent. In der EU gibt es bei Saatgut bisher noch keinen Grenzwert.¹

Die Ursachen für eine Vermischung von GV-Produkten mit konventionellen Produkten können

biologisch oder technisch bedingt sein.² Biologische Einträge können durch Fremdbefruchtung, Vermischung von Saatgut, Durchwuchs von GV-Pflanzen in nicht-GV-Folgekulturen oder durch die Verschleppung von Samen durch Tiere entstehen. Technische Einträge können während der Ernte durch die Vermischung von GV-Samen und -Ernteprodukten in Maschinen oder durch die Verarbeitung des Erntegutes geschehen. Eine weitere Quelle kann das Verschleppen von Saatgut in Maschinen und Ernte-Nebenprodukten sein.

Das Risiko von biologischen und technischen Einträgen von GV-Pflanzen in nicht-GV-Kulturen und -Produkte ist je nach Kulturpflanze unterschiedlich.

Bei Apfelkulturen ist vorwiegend die Auskreuzung eine wichtige Quelle für Einträge von GV-Pflanzen, da die Blüten nicht mit dem Pollen derselben Pflanze bestäubt werden können und die Fremdbestäubung durch Insekten geschieht. Biologische Einträge ins Saatgut sind nicht vorhanden, da das Apfelpflanzgut aus vegetativer Vermehrung (ungeschlechtlich ohne Samen) stammt.³

Bei Kartoffeln haben Auskreuzungen keinen direkten Einfluss auf das Erntegut, da nicht die

Samen, sondern die Knollen zum Verzehr und zur Vermehrung gebraucht werden. Vermischungen können aufgrund von Durchwuchs aus vorjährigen Kulturen entstehen.

Bei Zuckerrüben sind GV-Pflanzeneinträge ins Erntegut wenig problematisch, da die zweijährigen Pflanzen erst im zweiten Jahr blühen, die Rüben aber schon im ersten Jahr geerntet werden und somit keine Blüten, Pollen und Samen entwickeln. Pollen kann jedoch von Schösslingen, die aussergewöhnlicherweise schon im ersten Jahr blühen, in die Umwelt gelangen und Auskreuzungen hervorrufen. Aus solchen Schösslingen könnten allenfalls im nächsten Jahr GV-Rüben entstehen.

Raps befruchtet sich grösstenteils selbst, wird aber auch teilweise durch Wind und Insekten transportierten Fremdpollen bestäubt. Auskreuzungen finden zwar hauptsächlich innerhalb der ersten zehn Meter statt, konnten aber auch schon in Distanzen über 20 km beobachtet werden. Zudem kann Raps auswildern und sich mit verwandten Wildarten kreuzen. Auch der Durchwuchs mit GV-Raps in Folgekulturen sowie die Vermischung der kleinen Rapssamen in den Erntemaschinen und beim Transport stellen eine Herausforderung für die Trennung von GV- und konventionellem Raps dar.

Weizen ist ein Selbstbefruchter. Auskreuzungsraten sind deshalb sehr gering und nehmen auf kurze Distanzen sehr stark ab. Bei einer Distanz von 2,5 Metern beträgt die Auskreuzungsrate gerade noch 0,03 Prozent.⁴ Durch Samenverluste bei der Ernte kann es in Folgejahren zu Durchwuchs von GV-Weizen kommen.

Bei Mais ist der Durchwuchs im Folgejahr gering, da Samen nur in sehr milden Wintern überleben. Da Mais vorwiegend fremdbefruchtet wird und die Bestäubung hauptsächlich durch den Wind geschieht, könnten Vermischungen durch Auskreuzung geschehen.

Erfahrungen zur Erhaltung eines definierten Reinheitsgrades von Saatgut und von Endpro-

dukten können aus verschiedenen seit vielen Jahrzehnten praktizierten Systemen gewonnen und auf die Herstellung von GV-Produkten übertragen werden. Pflanzenzüchter verfügen über langjährige Erfahrung in der Sortentrennung und -reinhaltung. Neue Pflanzensorten werden bereits auf engem Raum nebeneinander gezüchtet, ohne dass Vermischungen stattfinden.

Die Produktion von konventionellem, zertifiziertem Saatgut geschieht in der Schweiz unter Einhaltung von rechtlichen Vorschriften, die Sortenreinheit optimieren und es ermöglichen, einen definierten Reinheitsgrad des Saatgutes zu garantieren. Dazu gehören vorgegebene Isolationsabstände, Anbaupausen zwischen Kulturen zur Saatgutproduktion und anderen Kulturen der gleichen Art, Reinigung von Maschinen und räumliche Trennung des Saatgutes nach der Ernte.² Die nötige Erfahrung ist also vorhanden, müsste aber spezifisch für GV-Pflanzen angepasst werden.

Auch die Produktion von konventionellem Erntegut mit speziellen Qualitätseigenschaften bedingt, dass unerwünschte Vermischungen vermieden werden. So werden zum Beispiel Rapssorten mit hohen Erucasäuregehalten für die Produktion von industriellen Ölen angebaut. Erucasäure ist aber für den Menschen nicht verträglich. Dies bedingt, dass sich diese industriellen Rapssorten nicht mit Rapssorten mischen dürfen, die zur Weiterverarbeitung für die Lebensmittelherstellung angebaut werden.²

Der biologische Landbau richtet sich nach Produktionsanforderungen, die in der Bio-Verordnung definiert sind und wird zusätzlich durch Verträge mit privaten Labelorganisationen geregelt, die Richtlinien und Weisungen erlassen. Im biologischen Landbau muss auf den Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Kunstdüngern verzichtet werden. Landwirte, die nicht-biologischen Landbau betreiben, müssen verhindern, dass angrenzende biologisch bewirtschaftete Areale mit Agrochemikalien belastet werden. Deshalb werden zum Beispiel bestimmte Distanzen zwischen biologisch bewirtschafteten und nicht-biologisch bewirtschafteten Parzellen emp-

fohlen. Bei der Umstellung von konventionellem auf biologischen Anbau müssen in den ersten zwei Jahren die Produkte mit dem Hinweis «hergestellt im Rahmen der Umstellung auf die biologische Landwirtschaft» vermarktet werden. Biologische Produkte können mit nicht-biologischen Zutaten versehen werden, wenn diese nicht als biologische Erzeugnisse auf dem Markt erhältlich sind und wenn ohne sie ein Lebensmittel nicht hergestellt werden kann.² Die nicht-biologischen Zutaten müssen vom Bund bewilligt werden.

Die genannten Massnahmen zur Erhaltung eines bestimmten Reinheitsgrades lassen sich auch für GV-Pflanzen anwenden. Der Durchwuchs von GV-Pflanzen in Folgejahren kann durch Fruchtfolgen, geeignete Bodenbearbeitung und Sortenwahl reguliert werden. Bei Kartoffeln und Weizen wird zum Beispiel eine Anbaupause von 2–4 Jahren empfohlen, bei Raps von 4–10 Jahren. Im konventionellen Landbau sind Pausen von 2–3 Jahren für Kartoffeln, einem Jahr für Weizen und 3 Jahren für Raps üblich. Der Durchwuchs von Zuckerrüben lässt sich durch Verwendung von Zuckerrübensorten, die weniger häufig schon im ersten Jahr blühen (geringe Schossneigung), und die konsequente Entfernung der Schösslinge stark reduzieren. Die Auskreuzung wiederum kann durch räumliche und zeitliche Isolierung, Pufferzonen, Sortenwahl und die Nutzung von natürlichen Barrieren verhindert werden. Zahlreiche Studien haben die Auskreuzungsraten in Bezug auf den Abstand bei Mais bestimmt. Auskreuzungen nehmen mit zunehmendem Abstand stark ab und betragen bei einem Abstand von mehr als 50 Metern weniger als 1 Prozent. Durch Einfügen von Feldgürteln, die mit nicht-GV-Mais bepflanzt sind, wird die Auskreuzungsrate zusätzlich stark redu-

ziert.⁵ Diese Pflanzen können zusammen mit dem GV-Mais geerntet und als solcher vermarktet werden. Bei Raps wird zusätzlich empfohlen, die an die Felder und Transportwege angrenzenden Gebiete regelmässig zu kontrollieren und verwilderte Pflanzen und verwandte Wildpflanzen zu entfernen.

Auch die Vermengung bei Ernte, Transport, Lagerung und Verarbeitung lässt sich durch Reinigung oder getrennte Nutzung von Maschinen minimieren. Die Vermischung bei Äpfeln oder Zuckerrüben bei Ernte, Transport und Verarbeitung dürfte aufgrund der Grösse des Ernteproduktes leicht zu vermeiden sein. Bei kleinerem Erntegut wie Weizen und Raps muss mit grösseren Verlusten bei der Ernte gerechnet werden, weshalb strengere Trennungs- und Reinigungsvorgaben nötig sind, um der höheren Wahrscheinlichkeit von Vermischung bei Transport und Verarbeitung entgegenzuwirken. Der Gebrauch von zertifiziertem Saatgut oder von Saatgut aus Gebieten ohne GV-Pflanzenanbau garantiert Gentech-freies Saatgut.^{2,3}

Viele der vorgeschlagenen Koexistenzmassnahmen wie die sorgfältige Anbauplanung in Absprache mit Nachbarbetrieben, das Einhalten von Sicherheitsabständen und Pufferzonen oder die Reinigung von Ernte- und Verarbeitungsmaschinen führen zu Mehrkosten. Die Höhe dieser Kosten hängt stark von regionalen Anbaubedingungen, betriebspezifischen Faktoren und den rechtlichen Toleranzwerten für die Vermischung von konventionellen Produkten mit GV-Anteilen ab. Auf verschiedenen Modellen basierende Berechnung im Rahmen des NFP 59 legen allerdings nahe, dass die Kosten der Koexistenzmassnahmen im Vergleich zu den gesamten Produktionskosten eher gering sind.⁶

Literatur

- ¹ Schweizer R, Errass C, Kohler S (2012) Koexistenz der Produktion mit und ohne gentechnisch veränderte Organismen in der Landwirtschaft. DIKE Verlag AG Zürich: S 23 ff.; S 107 ff.
- ² Sanvido O, Widmer F, Winzeler M, Streit B, Szerencsitz E, Bigler F (2005) Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. Schriftenreihe der FAL 55.
- ³ Vogel B, Brandes Ammann A, Fischer D (2008/2009) Datengrundlagen für eine Regelung der Koexistenz von Produktionsmethoden mit und ohne Gentechnik. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Zürich.

- ⁴ Foetzki A, Diaz Quijano C, Moullet O, Fammartino A, Kneubuehler Y, Mascher F, Sautter C, Bigler F (2012) Surveying of pollen-mediated crop-to-crop gene flow from a wheat field trial as a biosafety measure. *GM Crops and Food* 3: 115–122.
- ⁵ Demont M, Devos Y, Sanvido O (2010) Towards flexible coexistence regulations for GM crops in the EU. *EuroChoices* 9: 18–24.
- ⁶ Albisser Vögeli G, Burose F, Wolf D, Lips M (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART). www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?aid=26502&lang=de&pid=26931.

b) Auswirkungen auf die Biodiversität

Vielfach wird GV-Pflanzen eine negative Wirkung auf die Biodiversität zugeschrieben. Dies gilt vor allem für schädlingresistente Pflanzen wie die Bt-Sorten. Gegen Insekten resistente GV-Kulturpflanzen produzieren Bt-Toxine aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis*, die spezifisch gegen verschiedene schädliche Schmetterlinge wirken. Diese Bt-Toxine sind auch in Form von getrockneten Bakteriensporen und in reiner kristalliner Form erhältlich. Sie werden aufgelöst als Pflanzenschutzmittel im biologischen und konventionellen Landbau verwendet. Es wird befürchtet, dass durch die Anwendung von Bt-Nutzpflanzen Nicht-Zielorganismen wie Nützlinge und Bodenorganismen geschädigt werden, wenn sie das Toxin aufnehmen. Im Falle von GV-Sorten, welche gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln tolerant sind, besteht die Befürchtung, dass die Diversität von Unkräutern im Feld abnimmt und sich dies negativ auf die Diversität von anderen Organismen auswirkt.

Weltweit wurden zahlreiche Untersuchungen von Bt-Pflanzen auf Nicht-Zielorganismen gemacht. Diese Studien umfassen sowohl Nützlinge und Bestäuber als auch Bodenorganismen. Zurzeit gibt es keine bestätigten Berichte, dass Populationen von Bodenorganismen oder von oberirdisch lebenden Nützlingen durch den Anbau von Bt-Pflanzen signifikant geschädigt werden. Natürlich vorkommende Populationsschwankungen werden von Umweltfaktoren wie Standort, Klima, Sortenwahl und Düngung weit mehr beeinflusst als von den angebauten Pflanzensorten. Auch

sind die negativen Effekte von Insektenbekämpfungsmitteln auf Nützlinge weit grösser als diejenigen von Bt-Nutzpflanzen.^{1, 2, 3, 4, 5}

Eine kürzlich veröffentlichte Langzeitstudie über 20 Jahre zeigt, dass durch den verbreiteten Anbau von Bt-Baumwolle in China die Population der Baumwoll-Kapselleule, einer schädlichen Falterart, stark zurückgegangen ist. In den frühen 1990er-Jahren konnten die Falter mit Insektenbekämpfungsmitteln nicht mehr genügend bekämpft werden, da sie Resistenzen dagegen aufgebaut hatten. Deshalb haben über 95 Prozent der Kleinbauern in Nordchina begonnen, die Felder mit Bt-Baumwolle zu bepflanzen. In 20 Jahren liess sich dadurch die Behandlung mit Insektenbekämpfungsmitteln gegen die Baumwoll-Kapselleule um drei Viertel reduzieren. Zugleich stieg die Anzahl Nützlinge, die verschiedene Insekten fressen, wie zum Beispiel Marienkäfer, Flurfliegen und Spinnen, deutlich an, und die Populationsdichte der Baumwollblattläuse hat sich seit der Einführung der Bt-Baumwolle mehr als halbiert.⁶

Neben den direkten Wirkungen der GV-Pflanzen auf die Umwelt, können auch indirekte Faktoren die Biodiversität beeinflussen. Am meisten gefährdet wird die Biodiversität durch die Umwandlung von natürlichen Lebensräumen in Agrarland und Überbauungen. Zudem beeinflusst die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung die Umwelt. Diverse Studien belegen, dass GV-Pflanzen dazu beitragen können, die Produktivität

von Anbausystemen zu erhöhen. GV-Pflanzen können deshalb dazu beitragen, unberührtes Land zu schonen, was der Biodiversität zugute kommt. Auch ist der Einsatz von Agrochemikalien in GV-Kulturen oft geringer als in Betrieben, die konventionelle Methoden anwenden. Die mecha-

nische Bodenbearbeitung kann bei gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln toleranten Sorten markant reduziert werden, was einen positiven Effekt auf Bodenorganismen hat, die Wasseraufnahmefähigkeit der Böden fördert und diese vor Erosion schützt.^{1,2}

Literatur

- ¹ Carpenter JE (2011) Impact of GM crops on biodiversity. *GM Crops* 2: 7–23.
- ² Sanvido O, Romeis J, Bigler F (2007) Ecological impacts of genetically modified crops: Ten years of field research and commercial cultivation. *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology* 107: 235–278.
- ³ Icoz I, Stotzky G (2008) Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 559–586.
- ⁴ Wolfenbarger LL, Naranjo SE, Lundgren JG, Bitzer RJ, Watrud LS (2008) Bt crops effects on functional guilds of non-target arthropods: A meta-analysis. *PLoS ONE* 3: e2118.
- ⁵ Sweet J, Bartsch D (2012) Synthesis and overview studies to evaluate existing research and knowledge on biological issues on GM plants of relevance to Swiss environments. NFP 59, vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- ⁶ Lu Y, Wu K, Jiang Y, Guo Y, Desneux N (2012) Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487: 362–365.

c) Resistenzentwicklungen bei Unkräutern und Schädlingen

Die weltweit am häufigsten eingesetzten GV-Sorten sind tolerant gegenüber dem Unkrautbekämpfungsmittel Glyphosat, produzieren ein Bt-Toxin zum Schutz vor Schadinsekten oder besitzen beide Eigenschaften zusammen. Ein erhöhter und grossflächiger Einsatz eines Unkrautbekämpfungsmittels kann dazu führen, dass Unkräuter gegen das verwendete Mittel tolerant werden. Zudem ist nicht ausgeschlossen, dass Insekten Resistenzen gegen das Bt-Toxin entwickeln. Bisher sind weltweit 21 Unkräuter bekannt, die Glyphosat tolerieren. Die Unkräuter wurden auch in Gebieten gefunden, in denen keine GV-Kulturen angebaut wurden, das Unkrautbekämpfungsmittel Glyphosat aber zum Einsatz kam. Dies zeigt, dass Toleranzen gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln ein allgemeines Problem des Anbau- und Pflanzenschutzmittel-Managements sind und nicht spezifisch von GV-Kulturen herrühren. Allerdings hat durch den zunehmenden Anbau von Glyphosat-toleranten GV-Nutzpflanzen die grossflächige Anwendung

dieses Pflanzenschutzmittels auf globaler Ebene stark zugenommen. Statt einer Kombination verschiedener Wirkstoffe wird häufig nur noch Glyphosat verwendet. Dies erhöht einerseits das Risiko von Resistenzentwicklungen in Unkräutern und führt andererseits zu einer höheren Belastung der Umwelt mit einem einzelnen Wirkstoff. Allerdings schadet Glyphosat dem Boden weniger und ist weniger giftig für Tiere und Menschen als die meisten anderen Pflanzenschutzmittel. Auch Resistenzentwicklungen gegen das Bt-Toxin wurden beobachtet.^{1,2} In jenen Regionen Europas, wo Maisorten, die das Bt-Toxin Cry1Ab bilden, bereits seit 1996 kommerziell im Anbau sind, wurden bisher keine Resistenzen festgestellt.^{3,4}

Resistenzbildungen lassen sich mit verschiedenen Massnahmen reduzieren.^{2,5} So werden zum Beispiel beim Maisanbau Pufferzonen mit nicht Bt-resistentem Mais angebaut. Die in den Pufferzonen lebenden Schädlinge verringern Popula-

tionen von resistenten Schädlingen durch gemeinsame Nachkommen, die gegenüber den Bt-Toxinen nicht mehr resistent sind. Auch durch

Fruchtfolgen kann die Entwicklung von Resistenzen stark eingeschränkt werden.

Literatur

- ¹ Gassmann AJ, Petzold-Maxwell JL, Keweshan RS, Dunbar MW (2011) Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm. PLoS ONE 6: e22629.
- ² Huang F, Andow DA, Buschman LL (2011) Success of the high-dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crop use in North America. Entomologia Experimentalis et Applicata 140: 1–16.
- ³ Engels H, Bourguet D, Cagán L, Manachini B, Schuphan I, Stodola TJ, Micoud A, Brazier C, Mottet C, Andow DA (2010) Evaluating resistance to Bt toxin Cry1Ab by F2 screen in European populations of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). Journal of Economic Entomology 103: 1803–1809.
- ⁴ Farinós GR, Andreadis SS, de la Poza M, Mironidis GK, Ortego F, Savopoulou-Soultani M, Castañera P (2011) Comparative assessment of the field-susceptibility of *Sesamia nonagrioides* to the Cry1Ab toxin in areas with different adoption rates of Bt maize and in Bt-free areas. Crop Protection 30: 902–906.
- ⁵ Bates SL, Zhao J-Z, Roush RT, Shelton AM (2005) Insect resistance management in GM crops: Past, present and future. Nature Biotechnology 23: 57–62.

d) Monopolisierung des Saatguts

In den letzten Jahrzehnten ist die Zahl der Pflanzenzüchter im privaten und im öffentlichen Bereich zurückgegangen. Sortenzüchtung und Saatguthandel werden von rund zehn globalen Firmen dominiert.¹ Diese Konzentration ist Ausdruck der Globalisierung in allen Bereichen der Wirtschaft sowie eine Folge der Kostensteigerung für Forschung, Entwicklung und Zulassung von neuen Sorten bei den Nutzpflanzen. Die Dominanz weniger Firmen zieht Probleme nach sich, betrifft aber sowohl GV- als auch konventionell gezüchtete Pflanzen. Allerdings wird die Monopolisierung dadurch verstärkt, dass für die Zulassung von GV-Organismen besonders kostspielige Sicherheitstests und Registrierungsverfahren verlangt werden. Kleinere Agrarfirmen können sich diese nicht leisten und werden verdrängt. Die Konzentration der Entwicklung und Kommerzialisierung von GV- und konventionellen Pflanzen auf wenige, global agierende Firmen kann zu Abhängigkeiten führen.

Eine stärkere Förderung der Agrarforschung und -züchtung an öffentlichen Forschungsinstitutionen

könnte der Abhängigkeit der Landwirte von Agrarfirmen entgegenwirken. Um die genetische Vielfalt der Nutzpflanzen zu bewahren und der Öffentlichkeit langfristig zur Verfügung zu stellen, betreiben in der Schweiz die Forschungsanstalten des Bundes zudem Genbanken, in denen traditionelle Sorten erhalten und verfügbar gemacht werden.

Die öffentliche Agrarforschung und Sortenzüchtung ist in den Entwicklungsländern noch wichtiger als bei uns, weil die globalen Saatgutfirmen ihre Investitionen auf die grossen Märkte, auf die Industrieländer und auf die besten Anbauggebiete konzentrieren. Für schwierige Anbauggebiete und für Nutzpflanzen, die nur von lokaler Bedeutung sind – sogenannte «orphan crops» – stehen daher seltener leistungsfähige und robuste Neuzüchtungen zur Verfügung. Der Graben weitet sich, wenn es den Entwicklungsländern und öffentlichen Forschungsinstituten an Ressourcen für die Züchtung mangelt oder wenn sie die Potenziale der GV-Pflanzen aus verschiedenen Gründen nicht nutzen können.

Literatur

- ¹ Howard PH (2009) Visualizing consolidation in the global seed industry: 1996–2008. Sustainability 1: 1266–1287.



6. Auswirkungen der gesetzlichen Bestimmungen zur Gentechnik auf die Forschung an Pflanzen

- Die in der Schweiz herrschenden Bedingungen sind gut für die Forschung an GV-Pflanzen in geschlossenen Systemen, wirken aber hemmend auf die Forschung im Freiland.

Für die Landwirtschaft wichtige Erkenntnisse werden zu einem grossen Teil an öffentlichen Forschungsinstitutionen in der Grundlagenforschung und in der praxisnahen, angewandten Forschung erarbeitet. Dabei werden Mechanismen der pflanzlichen Entwicklung, der Nährstoffaufnahme, des Stoffwechsels, der Abwehrsysteme gegen Schädlinge und viele mehr erforscht. In der Grundlagenforschung erlangte Kenntnisse werden in der angewandten Forschung verwendet und in der Züchtung von Kultur- und Nutzpflanzen eingesetzt. Die Grundlagenforschung wird hauptsächlich an öffentlichen Forschungsinstitutionen (Universitäten und Hochschulen) ausgeübt, die angewandte landwirtschaftliche Forschung wird in der Schweiz von der Industrie und an öffentlichen Institutionen vorwiegend bei Agroscope und am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) betrieben.

Bei der Entwicklung von GV-Pflanzen werden verschiedene Pflanzenlinien in einem ersten Schritt im Labor untersucht und unter kontrollierten Umweltbedingungen getestet. Da die Pflanzen sich unter veränderten Umweltbedingungen verschieden entwickeln, sind nach den Labortests Untersuchungen im Freiland nötig, um die Wirkung der in den GV-Pflanzen veränderten Merkmale zu prüfen.

In der Schweiz wird der Umgang mit GV-Organismen durch das Gentechnikgesetz (GTG) geregelt und durch die Einschliessungs- und Freisetzungsverordnung präzisiert, wobei die Einschliessungsverordnung den Umgang mit GV-Organismen in geschlossenen Systemen (d. h. im Labor und Gewächshaus) und die Freisetzungsverordnung den Umgang mit GV-Organismen in der Umwelt regelt.¹ Forschungstätigkeiten mit GV-Organismen in geschlossenen Systemen müssen bei der Kontaktstelle Biotechnologie des Bundes gemeldet und in der Datenbank ECOGEN registriert werden. Tätigkeiten mit mässigem und hohem Risiko benötigen eine Bewilligung. Freilandversuche werden durch die Freisetzungsverordnung geregelt. Das seit 2005 geltende Gentechnik-Moratorium untersagt zudem das Inverkehrbringen von GV-Pflanzen, von -Pflanzenteilen und von -Saatgut, welche für die landwirtschaftliche, gartenbauliche und forstwirtschaftliche Anwendung in der Umwelt bestimmt sind, schliesst aber die Forschung mit GV-Pflanzen im Freiland nicht aus. Für Freilandversuche muss dafür beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) ein Bewilligungsgesuch eingereicht werden. Neben dem BAFU als Leitbehörde sind das Bundesamt für Veterinärwesen (BVET), das Bundesamt für Gesundheit (BAG) und das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) sowie die Eidgenössische Ethikkommiss-

sion für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich (EKAH), die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) und das kantonale Amt des Kantons, in welchem die Versuche geplant sind, in das Bewilligungsverfahren involviert. Zudem wird besonders betroffenen Personen Parteistellung im Verfahren gewährt. Im Falle der Versuche im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 59 «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» waren das alle im Umkreis von 1000 Metern wohnhaften Personen.

In der Schweiz arbeiten viele Forschungsgruppen mit GV-Pflanzen in geschlossenen Systemen, Freilandversuche werden aber kaum durchgeführt. Die einzigen Freilandversuche mit GV-Pflanzen, die von Beginn an unter dem seit 2004 geltenden GTG durchgeführt wurden, sind die im Rahmen des NFP 59 getätigten Experimente. In diesen Versuchen haben sich 6 Projekte mit Fragen des Risikos von GV-Pflanzen befasst und 2 Projekte haben das Wachstum von GV-Weizen im Feld untersucht, der in geschlossenen Systemen erhöhte Resistenz gegen Mehltau aufweist. Seit September 2007 wurde kein neues Gesuch für Freilandversuche gestellt. In der EU sind Freilandversuche stark rückgängig und haben von 2010 auf 2011 um die Hälfte abgenommen. In Deutschland waren 2011 noch 16 Freilandversuche im Gange, 9 weniger als im Vorjahr, in Frankreich haben seit 2011 keine Freilandversuche mehr stattgefunden.²

Die im Rahmen des NFP 59 durchgeführten Freilandversuche haben neben den Kosten für die reine Forschung hohe zusätzliche Kosten verursacht. So wurden für 1 Franken Forschung zusätzlich 17 Rappen für Bewilligungsverfahren, 31 Rappen für die Biosicherheit und 78 Rappen für Sicherheitsvorkehrungen, das heisst insgesamt 1,26 zusätzliche Franken ausgegeben. Die meisten Ausgaben wurden durch Vandalismus und Einsprachen von Nachbarn verursacht.³ Um Bewilligungsverfahren zu verkürzen und Kosten einzusparen, fordern Forscher geschützte Orte (sogenannte «protected sites»), auf denen öffentliche Institutionen der Schweiz Freilandversuche mit verkürzten Bewilligungsverfahren und Schutz vor Vandalismus

durchführen könnten. National- und Ständerat haben durch die Annahme der Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2013–2016 entschieden, der Forschungsanstalt Agroscope bei Zürich die Mittel zur Verfügung zu stellen, eine solche «protected site» einzurichten und zu betreiben.⁴ Ein weiteres schwerwiegendes Hemmnis für die Forschung mit GV-Pflanzen ist das weltweit einzigartige Verbot im GTG, Feldversuche mit Pflanzen durchzuführen, welche einen Antibiotika-Resistenzmarker enthalten. Dies macht es beinahe unmöglich, für Forschungszwecke GV-Pflanzen zu verwenden, die in Laboratorien ausserhalb der Schweiz entwickelt wurden, und schränkt damit auch die internationale Zusammenarbeit von Schweizer Forschenden stark ein.

Trotz der geringen Anzahl an Freilandversuchen in der Schweiz, haben Wissenschaftler an öffentlichen Forschungsinstituten der Schweiz eine Reihe von GV-Pflanzen entwickelt, die in Zukunft für die Landwirtschaft in Afrika und Asien an Bedeutung gewinnen werden. Dies sind an der ETH Zürich entwickelte Maniok-Pflanzen, die Resistenz gegen den Cassava Mosaik-Virus und die Cassava Braunstreifen-Krankheit aufweisen, der Golden Rice mit einem erhöhten Gehalt an Provitamin A und Eisen-angereicherter Reis.^{5, 6, 7} Zudem wird auch an für die Schweiz und Europa relevanten GV-Pflanzen geforscht. An der ETH Zürich und der Forschungsanstalt Agroscope sind Feuerbrand- und Schorf-resistente Apfelbäume⁸ und an der Universität Zürich Mehltau-resistenter Weizen in Entwicklung, bzw. in Prüfung.⁹ Alle diese Pflanzen wurden in der Schweiz in Laborversuchen getestet, für Tests im Feld mussten die Forscher mit Ausnahme der im NFP 59 durchgeführten Versuche mit Mehltau-resistentem Weizen ins Ausland ausweichen.

Die industrielle Forschung im Bereich der Grünen Gentechnik ist in den letzten 10 Jahren in der Schweiz und anderen Ländern Europas stark zurückgegangen. Syngenta hat die Forschung an GV-Pflanzen in den USA und China positioniert und BASF hat 2011 entschieden, seine Sparte der Pflanzenbiotechnologie in die USA zu verlegen.

Sowohl das Bevölkerungswachstum als auch immer schneller ändernde Klimabedingungen bedingen indes, dass wissenschaftliche Erkenntnisse und Züchtungspotenziale optimal genutzt werden. Ein eindruckliches Beispiel, das die Notwendigkeit aufzeigt, neue Kultursorten in sehr kurzer Zeit züchten zu können, ist der Rostpilz *Puccinia graminis*. Die Variante Ug99 des Krankheitserregers löst in bisher als pilzresistent bekannten Weizensorten unerwartet Schwarzrost aus und kann Ernteverluste von bis zu 90 Prozent verursachen. Der Erreger wurde zum ersten Mal 1999 in Uganda entdeckt, verbreitete sich innerhalb von 2 Jahren in Afrika, überquerte im Jahr 2007 das rote Meer und erreichte den Jemen. Die meisten Weizensorten sind seit den 1960er-Jahren mit dem Gen Sr31 ausgestattet, das den Weizen gegen die meisten Stämme des Rostpilzes resistent macht. Dieses Gen wurde mittels klassischer Züchtung aus Roggen in viele Weizensorten eingekreuzt. Der Krankheitserreger Ug99 hat nun die Resistenz überwunden.¹⁰ Darum ist es unerlässlich, so schnell wie möglich Gene aus Weizen oder verwandten Arten zu charakterisieren, die dem Weizen Resistenz gegen den Ug99 Pilz verleihen, um einer weiteren Verbreitung der Krankheit entgegenwirken zu können. Dazu sind Experten und die Ausschöpfung aller technischen Methoden nötig.

Neue Erkenntnisse und Technologien in der Pflanzenforschung haben im letzten Jahrhundert die Strukturen der Saatgutindustrie stark verändert. So haben Hybridisierungstechniken in der Züchtung, die Einführung von Patenten und die Fortschritte in der Biotechnologie und damit verbundene hohe Regulierungskosten dazu geführt, dass kaum noch staatliche Institutionen für sich alleine Züchtungsprogramme betreiben. Eine markante Förderung der Agrarforschung an öffentlichen Forschungsinstitutionen könnte dieser Entwicklung entgegenwirken. In den Schwellenländern Brasilien, China und Indien entstehen Partnerschaften zwischen privaten und staatlichen Firmen für die gemeinsame Entwicklung einer neuen Generation von GV-Gemüsesorten. Dabei werden von privaten Firmen entwickelte Technologien den öffentlichen Institutionen zur Verfügung gestellt.¹¹ Ein Wissens- und Technologietransfer geschieht auch immer häufiger von diesen Ländern nach Afrika. China investiert zudem stark in den öffentlichen Sektor für die Entwicklung von neuen GV-Pflanzen. In Australien wird die Entwicklung von GV-Pflanzen grösstenteils in staatlichen Laboratorien betrieben.

An öffentlichen Institutionen der Schweiz entwickelte GV-Pflanzen

Golden Rice

Virusresistenter Maniok

Feuerbrand- und Schorf-resistente Apfelbäume

Eisen-angereicherter Reis

Mehltau-resistenter Weizen

Abbildung 10. Freilandversuche mit GV-Weizen in Zürich-Reckenholz im Rahmen des NFP 59.



Schwierige Rahmenbedingungen für Feldversuche mit GV-Pflanzen in der Schweiz

Beat Keller, Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich

Die pflanzenbiologische Forschung in der Schweiz gehört international zur Spitze. Die Forschungsarbeiten fokussieren sich dabei auf die Grundlagenforschung zu Wachstum und Stoffwechsel von Pflanzen sowie auf die natürlichen Mechanismen von pflanzlichen Wechselwirkungen mit Krankheitserregern und Symbionten. Forschungsprojekte mit angewandten Aspekten von GV-Pflanzen sind allerdings mit grossen Schwierigkeiten konfrontiert. Diese entstehen aus einigen, zum Teil weltweit einzigartigen Vorschriften im schweizerischen Gentechnikgesetz sowie einer überaus kritischen Beurteilung von Forschungsprojekten mit Feldversuchen von GV-Pflanzen durch die Behörden und die Politik. Zur längerfristigen Sicherung der Forschung sind deshalb Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen nötig.

Das wiederholt verlängerte Moratorium für den kommerziellen Anbau von GV-Pflanzen führt für

Forschende und besonders für den Forschungsnachwuchs zu einer seit vielen Jahren andauernden Verunsicherung. Diese äussert sich einerseits in einer Abwanderung ins Ausland, andererseits aber auch in einer Abwendung von anwendungsorientierten Projekten.

Trotz dieser Schwierigkeiten gibt es in jüngster Zeit auch ermutigende Zeichen für die Feldforschung mit GV-Pflanzen in der Schweiz. Einerseits gehört dazu die Schaffung einer sogenannten «protected site» (geschützter Ort) spezifisch für die Durchführung von Feldversuchen mit GV-Pflanzen. Andererseits hat das Nationale Forschungsprogramm NFP 59 eine solide Grundlage für baldige politische Entscheide gelegt. Die Forschenden in der Schweiz hoffen, dass die Politik ihre vor drei Jahren gemachte Zusicherung einhält und diese Ergebnisse als Basis zukünftiger Entscheide berücksichtigt.

Die Grüne Gentechnologie hat mit fortdauerndem Moratorium keine Zukunft in der Schweiz

Wilhelm Gruissem, Pflanzenbiotechnologie, Institut für Agrarwissenschaften, ETH Zürich

Die pflanzenbiotechnologische Forschung in der Schweiz hat mit der Entwicklung von Pilz-resistentem Weizen, Vitamin A- und Eisen-angereichertem Reis sowie virusresistentem Maniok bedeutende internationale Erfolge für die Ernährungssicherung und Nahrungsmittelqualität vorzuweisen. Der Goldene Reis, der von Ingo Potrykus zuerst an der ETH Zürich entwickelt wurde, steht kurz vor der Zulassung in verschiedenen südasiatischen Ländern. Trotzdem liefern diese Erfolge sowie mit Blick auf das bestehende Moratorium zum Anbau von GV-Pflanzen und dessen geplanten Verlängerung als auch auf die gegenwärtig schwierigen Rahmenbedingungen keinen Optimismus für die längerfristige Fortführung der Pflanzenbiotechnologie-Forschung in der Schweiz.

Es wird von vielen Verantwortlichen in Behörden, Verbänden und in verschiedenen Umweltorganisationen sowie von Politikern argumentiert, dass negative Folgen für die pflanzenbiotechnologische Forschung in der Schweiz, die mit einer Verlängerung des Moratoriums verbunden sein könnten, bisher nicht nachgewiesen werden konnten. Diese Argumentation entspricht jedoch nicht der Wirklichkeit. Tatsache ist, dass im Nationalen Forschungsprogramm NFP 59 nur zwei Forschungsgruppen in der gesamten Schweiz GV-Kulturpflanzen zur Verfügung hatten, die in Feldversuchen untersucht werden konnten. Viele Schweizer Pflanzenforscher arbeiten zwar mit GV-Pflanzen (besonders der Modellpflanze

Ackerschmalwand, *Arabidopsis thaliana*) als Teil ihrer Grundlagenforschung, aber in der Regel zielt diese nicht auf Feldversuche hin. Die meisten Schweizer Pflanzenforscher haben sich von der Entwicklung von GV-Kulturpflanzen für den landwirtschaftlichen Anbau abgewandt. Die Erschwernisse des Gentechnikgesetzes (GTG) und die unfreundlichen Verhältnisse (bis hin zu Zerstörungen und Vandalismus) bieten derzeit wenig Anreiz, die Entwicklung von GV-Kulturpflanzen für den landwirtschaftlichen Anbau in der Schweiz voranzutreiben.

Vielleicht langfristig noch gefährlicher ist die Tatsache, dass in den letzten Jahren kaum Schweizer Studierende intensiv in der Pflanzenbiotechnologie und der Entwicklung von GV-Pflanzen ausgebildet wurden. Es ist daher anzuzweifeln, dass in den Schweizer Ämtern und Behörden das erforderliche praxisnahe Fachwissen vorhanden ist, um Entscheidungen zum GTG sowie zu Moratorien und Koexistenzregeln auf einer fundierten wissenschaftlichen Basis zu treffen. Diese Situation ist für die Schweiz insofern bedenklich, als weltweit der Anbau von GV-Kulturpflanzen rasant zunimmt. Auch für die Schweizer Landwirte könnte in Zukunft der Anbau von GV-Kulturpflanzen interessant werden (zum Beispiel Knollenfäule-resistente Kartoffeln, trockenresistenter Mais, Feuerbrand-resistente Obstbäume), um den Einsatz von Chemikalien in der Umwelt und den Verbrauch von Wasser zu reduzieren.

Literatur:

- ¹ Errass C (2006) Öffentliches Recht der Gentechnologie im Ausserhumanbereich. Stämpfli Verlag AG Bern: S 191 ff.
- ² Forum Bio- und Gentechnologie – Verein zur Förderung der gesellschaftlichen Diskussionskultur e.V. www.transgen.de/
- ³ Bernauer T, Tribaldos T, Luginbühl C, Winzeler M (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. *Transgenic Research* 20: 1227–1234.
- ⁴ Romeis J, Meissle M, Brunner S, Tschamper D, Winzeler M (2013) Plant biotechnology: research behind fences. *Trends in Biotechnology*, doi: 10.1016/j.tibtech.2013.01.020
- ⁵ Vanderschuren H, Moreno I, Anjanappa RB, Zainuddin IM, Gruissem W (2012) Exploiting the combination of natural and genetically engineered resistance to cassava mosaic and cassava brown streak viruses impacting cassava production in Africa. *PLoS ONE* 7: e45277.
- ⁶ Beyer P, Al-Babili S, Ye X, Lucca P, Schaub P, Welsch R, Potrykus I (2002) Golden Rice: introducing the beta-carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. *Journal of Nutrition* 132: 506S–510S.
- ⁷ Wirth J, Poletti S, Aeschlimann B, Yakandawala N, Drosse B, Osorio S, Tohge T, Fernie AR, Günther D, Gruissem W, Sautter C (2009) Rice endosperm iron biofortification by targeted and synergistic action of nicotianamine synthase and ferritin. *Plant Biotechnology Journal* 7: 631–644.
- ⁸ Szankowski I, Waidmann S, Degenhardt J, Patocchi A, Paris R, Silfverberg-Dilworth E, Broggini G, Gessler C (2009) Highly scab-resistant transgenic apple lines achieved by introgression of HcrVf2 controlled by different native promoter lengths. *Tree Genetics and Genomes* 5: 349–358.
- ⁹ Brunner S, Stirnweis D, Diaz Quijao C, Buesing G, Herren G, Parlange F, Barret P, Tassy C, Sautter C, Winzeler M, Keller B (2012) Transgenic Pm3 multilines of wheat show increased powdery mildew resistance in the field. *Plant Biotechnology Journal* 10: 398–409.
- ¹⁰ www.welt.de/102591059
- ¹¹ James C (2011) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Briefs No. 43. ISAAA, Ithaca, NY, USA.



7. Schlussfolgerungen für die Schweiz

a) Bedeutung von GV-Pflanzen und neuen Züchtungstechniken für die Schweizer Landwirtschaft

Dank gentechnischer Methoden ist es möglich, Pflanzeigenschaften präzise zu verändern und neue Kultursorten teilweise schneller zu züchten, als konventionelle Züchtungsmethoden dies erlauben. Zurzeit wird eine neue Generation von GV-Pflanzen entwickelt. Dabei stehen nicht mehr Toleranzen gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln und die Produktion von natürlichen Insektbekämpfungsmitteln (Bt-Toxine) im Vordergrund. Vielmehr werden den Pflanzen arteigene oder artfremde Resistenzgene eingebaut, welche bestimmte Krankheitserreger erkennen und die pflanzeigenen Abwehrmechanismen auslösen. In anderen Fällen wird Erntegut mit essentiellen Nährstoffen angereichert oder es werden für den Konsum oder die Anwendung unerwünschte Stoffe reduziert. Auch wird an Pflanzen gearbeitet, die an extreme Umweltbedingungen wie Dürre, Überflutungen, Hitze oder Kälte angepasst sind. Andere Entwicklungen schliesslich zielen auf eine optimierte Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln ab. Die Wissenschaftler bedienen sich dabei neben der traditionellen Methoden der Gentechnik auch neuer Techniken, die entweder nur noch wenig oder gar keine artfremde DNA in den Kulturpflanzen zurücklassen. Neue, auf Gentechnik basierende Züchtungsmethoden und die neue Generation von GV-Pflanzen weisen weltweit ein grosses Potenzial auf, um zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beizutragen.

Die Landwirtschaftsstrategie der Schweiz setzt auf eine ertragreiche, umweltschonende Landwirtschaft, die qualitativ hochwertige Produkte erzeugt und das Einkommen der Bauern verbes-

sert. Neue und etablierte Züchtungsmethoden, die auf die Gentechnik zurückgreifen, ermöglichen die Züchtung von Nutzpflanzen, die diese Strategie unterstützen. Auch gewisse bereits kommerziell angebaute GV-Pflanzen sowie solche, die sich in anderen Ländern noch in Zulassungsverfahren befinden, weisen ökologische Vorteile auf, die in der Schweiz von Bedeutung sein können. Für den Biolandbau könnten gewisse GV-Pflanzen, die umweltschonend eingesetzt werden, zukünftig von Interesse sein. Auch der Direktor des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL) kommt zur Einschätzung, dass gewisse GV-Pflanzen nachhaltige Anbausysteme verbessern können.¹ Eine erneuerte Gesetzgebung sollte die Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten ins Zentrum stellen und gleichzeitig festhalten, dass eine Nulltoleranz gegenüber weltweit verbreiteten GV-Produkten und -Serviceleistungen nicht möglich ist.

Aus diesen Gründen sollte ein Anbau von GV-Pflanzen in der Schweiz in Zukunft ermöglicht werden. Die gesetzlichen Regulierungen sollten ein Nebeneinander von Landwirtschaft mit und ohne GV-Pflanzen gestatten, ohne die Zusatzkosten übermässig in die Höhe zu treiben und grosse administrative Hürden zu errichten.

Neue Züchtungstechniken bedienen sich der Gentechnik, und die Grenzen zwischen konventioneller und gentechnischer Züchtung verschwinden zusehends. In den erzeugten Pflanzen ist oft nur wenig oder gar keine artfremde DNA mehr vorhanden. Deshalb sollten für die Regulierung

die Pflanzen und ihre Eigenschaften und nicht deren Entstehungsprozess (mit oder ohne Gentechnik) im Vordergrund stehen. Auch Risikobeurteilungen sollten auf das Produkt fokussieren.

nik) im Vordergrund stehen. Auch Risikobeurteilungen sollten auf das Produkt fokussieren.

b) Bedeutung der Forschung mit GV-Pflanzen

In der Schweiz wurden bereits eine Reihe von GV-Pflanzen mit Merkmalen wie zum Beispiel erhöhter Produktion von Provitamin A oder Resistenzen gegen bestimmte Krankheitserreger entwickelt. Der Wissensstandort Schweiz besitzt das Potenzial, Kulturpflanzen zu entwickeln, die auch in der Schweiz für eine ertragreiche und umweltschonende Landwirtschaft eine zentrale Rolle spielen können. Die in Schweizer Laboratorien entwickelten GV-Pflanzen wurden bisher vorwiegend in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern im Freiland dieser Länder auf ihre Nutzbarkeit getestet. Grund dafür sind langwierige und kostspielige Bewilligungsverfahren sowie hohe Schutzmassnahmen gegen Vandalismus, welche die landwirtschaftliche Forschung mit GV-Pflanzen hemmen. Diese Schwierigkeiten verbauen sowohl zukünftige Möglichkeiten, in der Schweiz zielstrebig Pflanzen für eine innovative, moderne und nachhaltige Landwirtschaft züchten zu können,

als auch Chancen der Mitbestimmung zur Entwicklung der Pflanzenbiotechnologie auf internationaler Ebene. Es ist deshalb anzustreben, für die Forschung Strukturen einzurichten, die landwirtschaftliche Forschung mit GV-Pflanzen im Freiland und geschützt vor Vandalismus erlauben (zum Beispiel «protected sites» wie diejenige an der Forschungsanstalt Agroscope bei Zürich²) und Bewilligungsverfahren nicht durch Einsprachen verzögern.

Gegner der Grünen Gentechnik verknüpfen die Anwendung von GV-Pflanzen oft mit der Abhängigkeit von Bauern von einigen wenigen Saatgutfirmen, die nebst Patentrechten für das Saatgut auch die Patentrechte für die zugehörigen Pflanzenschutzmittel besitzen. Die Stärkung der Agrarforschung an öffentlichen Institutionen und der Wissenstransfer in Entwicklungsländer könnten dieser Entwicklung entgegenwirken.

c) Risikobeurteilungen und gesetzliche Regulierungen

In den letzten zwei Jahrzehnten veröffentlichten Fachzeitschriften weltweit eine Vielzahl von Studien über die Auswirkung von GV-Pflanzen auf die menschliche und tierische Gesundheit und die Umwelt. Eine kürzlich publizierte Langzeitstudie aus Frankreich kam zum Schluss, dass GV-Mais bei Ratten vermehrt zu Krebs führen kann.² Diese Arbeit löste ein grosses Medienecho aus, wurde aber von breiten Fachkreisen wegen ihrer gravierenden Qualitätsmängel stark kritisiert. Die European Food Safety Authority (EFSA) kam nach gründlicher Untersuchung zum Schluss, dass die Studie grosse wissenschaftliche Lücken und Ungeheimheiten aufweist und eine Neubewertung der Sicherheit von GV-Mais nicht erforderlich ist.⁴ In ihrer Beurteilung hat die EFSA auch die unabhän-

gigen Bewertungen von Organisationen in sechs EU-Mitgliedsländern berücksichtigt, die allesamt ebenfalls gravierende Mängel an der Arbeit festgestellt hatten. Darüber hinaus zeigte eine ebenfalls im 2012 publizierte aufwendige Analyse von 24 relevanten Studien eindeutig, dass GV-Pflanzen denselben Nährwert haben wie traditionell gezüchtete Pflanzen und genauso sicher für die menschliche und tierische Ernährung sind.⁵ Zu diesem Ergebnis kam auch eine Literaturstudie im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 59.⁶

Auch in der Schweiz wurden die von GV-Pflanzen ausgehenden Risiken für Lebewesen und Boden untersucht. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse belegen, dass GV-Pflanzen keine grösseren Risi-

ken nach sich ziehen als Nutzpflanzen, die mit konventionellen Methoden gezüchtet wurden. Wenn also die Schweiz von anderswo zugelassenen GV-Produkten oder deren Spuren in Saatgut, Nahrungs- und Futtermitteln frei gehalten wird, ist dies nicht mit von GV-Pflanzen ausgehenden Risiken zu begründen. Indem die Schweiz sich GV-Produkten verschliesst, nimmt sie in Kauf, dass die Kontrollkosten hoch und die Nahrungsmittel teurer sind. Ausserdem wird die Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten eingeschränkt. Für die Schweiz geltende gesetzliche Vorschriften und Regulierungen sollten auf einer wissenschaftlichen Basis beruhen und wissenschaftlich fundierte internationale Risikobeurteilungen anerkennen. In einem im November 2012

publizierten Bericht kommt die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) ebenfalls zum Schluss, dass eine Verlängerung des Gentech-Moratoriums einzig aus Gründen der Biosicherheit nicht gerechtfertigt ist.⁷ Für Vorschriften zur Koexistenz von Landwirtschaft mit und ohne GV-Pflanzen sollten die wissenschaftlich erarbeiteten Risikobeurteilungen von Vermischungspotenzialen und Auskreuzungsereignissen als Grundlage dienen. Die Massnahmen müssen den verschiedenen Nutzpflanzen entsprechend angepasst und so gewählt werden, dass ein pragmatisches Nebeneinander unter möglichst geringem Aufwand und zu tragbaren Kosten zu bewerkstelligen ist.

Literatur

- ¹ Niggli U (2012) Der Prüfstein für die Gentechnologie ist die Nachhaltigkeit. In: Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Programmsynthese des NFP 59, vdf Hochschulverlag AG, Zürich, 180–183.
- ² Romeis J, Meissle M, Brunner S, Tschamper D, Winzeler M (2013) Plant biotechnology: research behind fences. Trends in Biotechnology, doi: 10.1016/j.tibtech.2013.01.020
- ³ Séralini GE, Clair E, Mesnage R, Gress S, Defarge N, Malatesta M, Hennequin D, Spiroux de Vendomois J (2012) Long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. Food and Chemical Toxicology 50: 4221–4231.
- ⁴ European Food Safety Authority (EFSA) (2012) Final review of the Séralini et al. (2012a) publication on a 2-year rodent feeding study with glyphosate formulations and GM maize NK603 as published online on 19 September 2012 in Food and Chemical Toxicology. EFSA Journal 10 (11): 2986.
- ⁵ Snell C, Bernheim A, Bergé JB, Kuntz M, Pascal G, Paris A, Ricroch AE (2012) Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. Food and Chemical Toxicology 50: 1134–1148.
- ⁶ Hoffmann-Sommergruber K, Dorsch-Häsler K (2012) Medical issues related to genetically modified plants of relevance to Switzerland. NFP 59, vdf Hochschulverlag AG, Zürich.
- ⁷ Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) (2012) Überlegungen der EFBS zur Grünen Gentechnologie: Hintergrundpapier zur Medienmitteilung vom 15. November 2012. www.efbs.admin.ch/

Annex

In der EU eingereichte Zulassungsanträge für den Anbau von GV-Pflanzen (Stand November 2012). Quellen:
EFSA (2012) Register of Questions Database, <http://registerofquestions.efsa.europa.eu/roqFrontend/questionsList.jsf>,
www.transgen.de/zulassung/gvo

Pflanze Linie	Eigenschaften ¹	Transgen(e)	Antragsteller	Status	Jahr der Antragsstellung
Mais					
Bt11	IR: Maiszünsler HT: Glufosinat	cry1Ab pat	Syngenta	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	1996 ²
1507	IR: verschiedene Schadschmetterlinge HT: Glufosinat	cry1F pat	Pioneer HiBred	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	2001
NK603	HT: Glyphosat	cp4 epsps	Monsanto	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	2005
MON88017	IR: Maiswurzelborer HT: Glyphosat	cry3Bb1 cp4 epsps	Monsanto	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	2008
GA21	HT: Glyphosat	mepsps	Syngenta	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	2008
59122	IR: Maiswurzelborer HT: Glufosinat	cry34Ab1, cry35Ab1 pat	Pioneer Hi-Bred, Myogen Seeds	In Bearbeitung	2005
1507 x 59122	IR: verschiedene Schadschmetter- linge, Maiswurzelborer HT: Glufosinat	cry1F, cry34Ab1, cry35Ab1 pat	Mycogen Seeds (Dow AgroScience)	In Bearbeitung	2005
1507 x NK603	IR: Maiszünsler HT: Glufosinat, Glyphosat	cry1F pat, cp4 epsps	Pioneer Hi-Bred/ Myogen Seeds	In Bearbeitung	2005
NK603 x MON810	IR: Maiszünsler HT: Glyphosat	cry1Ab cp4 epsps	Monsanto	In Bearbeitung	2005
59122 x 1507 x NK603	IR: verschiedene Schadschmetter- linge, Maiswurzelborer HT: Glufosinat, Glyphosat	cry1F, cry34Ab1, cry35Ab1 pat, cp4 epsps	Pioneer Hi-Bred	In Bearbeitung	2006
T25	HT: Glufosinat	pat	Bayer CropScience	In Bearbeitung	2007
MON89034 x MON88017	IR: verschiedene Schadschmetter- linge, Maiswurzelborer HT: Glyphosat	cry1A.105, cry2Ab2, cry3Bb1 cp4 epsps	Monsanto	In Bearbeitung	2009
MON89034 x NK603	IR: verschiedene Schadschmetterlinge HT: Glyphosat	cry1A.105, cry2Ab2 cp4 epsps	Monsanto	In Bearbeitung	2009
MIR604	IR: Maiswurzelborer	mcry3A	Syngenta	In Bearbeitung	2010
Bt11 x MIR604 x GA21	IR: Maiszünsler, Maiswurzelborer HT: Glufosinat, Glyphosat	cry1Ab, mcry3A pat, mepsps	Syngenta	In Bearbeitung	2010
MON89034	IR: versch. Schadschmetterlinge	cry1A.105, cry2Ab2	Monsanto	In Bearbeitung	2011
Baumwolle					
GH614	HT: Glyphosat	2mepsps	Bayer CropScience	Eingereicht	2012
Soya					
40-3-2	HT: Glyphosat	cp4 epsps	Monsanto	Sicherheitsbewertung abgeschlossen	2005
Zuckerrübe					
H7-1	HT: Glyphosat	cp4 epsps	KWS Saat AG, Monsanto	Eingereicht	2000 ²
Kartoffel					
AV43-6-G7	veränderte Inhaltsstoffe	gbss RNAi	AVEBE	In Bearbeitung	2009
AM04-1020	veränderte Inhaltsstoffe	gbss RNAi	BASF Plant Science	In Bearbeitung	2010
PH05-026-0048	Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule	rpi-blb1, rpi-blb-2	BASF Plant Science	Eingereicht	2011

¹ IR – Insektenresistenz; HT – Toleranz gegenüber Unkrautbekämpfungsmitteln (Herbizidtoleranz)

² Der Antrag wurde nach der damaligen Freisetzungsrichtlinie 90/220 eingereicht, später nach der Freisetzungsrichtlinie 2001/18 weitergeführt. Der Antrag wurde 2003 entsprechend ergänzt.

Impressum

Autorinnen und Autoren: Richard Braun (SATW), Ueli Grossniklaus (Universität Zürich), Daniel Gyga (FHNW), Stefan Kohler (Vischer AG), Patrick Matthias (FMI), Jörg Romeis (ART), Olivier Sanvido (ART), Pia Stieger (SCNAT)

Expertinnen und Experten: Franz Bigler (ART), Peter Brodmann (Kantonales Laboratorium Basel Stadt), Dirk Dobbelaere (Universität Bern), Paul Egger (ehemals DEZA), Christian Fankhauser (Universität Lausanne), Cesare Gessler (ETH Zürich), Wilhelm Gruissem (ETH Zürich), Christian Hardtke (Universität Lausanne), Barbara Hohn (FMI), Beat Keller (Universität Zürich), Felix Kessler (Universität Neuchâtel), Jan Lucht (scienceindustries), Rudolf Marti (VSF), Brigitte Mauch-Mani (Universität Neuchâtel), Jean-Pierre Métraux (Universität Fribourg), Didier Reinhardt (Universität Fribourg), Jean-David Rochaix (Universität Genf), Arnold Schori (ACW), Peter Stamp (ETH Zürich), Roman Ulm (Universität Genf), Michael Winzeler (ART)

Redaktion: Georg Bleikolm, Florian Fisch, Franziska Oeschger, Lucienne Rey

Layout: Olivia Zwygart

Bilder: Titelseite links: agrarfoto.com; oben rechts: J. Romeis (ART); unten rechts: USDA NRCS | S. 9: photocase.com | S. 15 oben: C. Gessler (ETH Zürich); unten: <http://jhered.oxfordjournals.org/> | S. 21, 26, 35, 49: agrarfoto.com | S. 23, 29, 31: J. Romeis (ART) | S. 43, 46 rechts: B. Senger (Universität Zürich) | S. 46 links: G. Brändle (ART)

Disclaimer: Die Expertinnen und Experten haben den Bericht oder Teile davon auf seine faktische Richtigkeit überprüft. Sie sind durch den Inhalt und die Schlussfolgerungen nicht gebunden.

Empfohlene Zitierweise

Herausgeber: Akademien der Wissenschaften Schweiz (akademien-schweiz)

Titel: Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz

Ort: Bern

Jahr: 2013

ISBN: 978-3-905870-33-6

